

普通高等教育机械类“十三五”规划系列教材

# 面向医疗器械 产品结构与造型的 计算机辅助设计

胡志刚 付东辽 王 伟 编 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书结合医疗器械工程相关专业特点,在介绍工程制图和计算机辅助设计的基础上,融入了医疗器械产品结构造型设计与人机工程学思想,并结合医疗器械产品开发案例,详细介绍了医疗器械产品结构设计的过程与方法。全书由五篇组成,分别为工程制图基础、医疗器械产品的机构设计、医疗器械产品的人机工程学设计、医疗器械产品的造型设计、医疗器械产品的计算机辅助设计。

本书可作为医疗器械工程等相关专业学生的基础教材,也可作为医疗器械领域工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

面向医疗器械产品结构造型的计算机辅助设计/胡志刚,付东辽,王伟编著. —北京:电子工业出版社, 2018.10

普通高等教育机械类“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-35194-5

I. ①面… II. ①胡… ②付… ③王… III. ①医疗器械—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TH77

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第230166号

策划编辑:李洁

责任编辑:刘真平

印刷:

装订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:428.8千字

版次:2018年10月第1版

印次:2018年10月第1次印刷

定价:49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: [lijie@phei.com.cn](mailto:lijie@phei.com.cn)。

## 前 言

随着我国人口逐步老龄化,医疗服务需求不断升级,促进了医疗消费增长和医疗器械需求增长。目前,我国医疗器械市场迅速膨胀,已成为继美国和日本后世界第三大医疗器械市场,成为带动全球医疗器械市场增长的主要区域。近年来,每年的医疗器械销售额增速保持在17%以上,其中高端医疗器械平均每年保持20%左右的增长速度。如此巨大的市场需求带来的是更大的专业人才需求。

医疗器械工程专业旨在培养具有机电一体化基本理论,具备精密医疗器械制造和维修保养的基础知识,掌握医疗器械及医疗仪器设备操作、使用、维护的技能,掌握精密医疗器械国家标准和质量检验技术,熟悉相关监督法规,能从事医疗器械质量监督、检测、生产、销售等工作的专业人才。

目前市场上发行的有关医疗器械结构与造型计算机辅助设计的教材可分为两类:一类是介绍医疗器械原理与维修的书籍,更适合作为医疗器械维修人员维修设备时的参考书,而不适合医疗器械工程相关专业本科层次的学生作为教材使用;另一类是供机械类专业学生使用的工程制图或计算机辅助设计书籍,不能很好地结合医疗器械专业特点和设计案例,也不适合医疗器械工程相关专业学生使用。考虑行业发展对人才的需求方向,处理好教学内容及教学重点的关系,我们结合医疗器械工程相关专业特点编写了适合本专业使用的教学用书《面向医疗器械产品结构与造型的计算机辅助设计》,该书在介绍工程制图和计算机辅助设计软件的基础上,融入了医疗器械产品设计的人机工程学思想,并结合医疗器械产品开发案例详细介绍了医疗器械产品结构设计与方法。这对培养具有工程实践能力和行业特点的专业人才具有重要意义。

本书由河南科技大学胡志刚、付东辽、王伟编著,胡志刚教授负责全书统稿工作,黄磊、祖向阳、毕彦平等老师参与编写。其中,第1章由胡志刚编写;第2章由毕彦平编写;第3、14、15章由付东辽编写;第4、6~8章由黄磊编写,第5、9章由祖向阳编写,第10~13章由王伟编写。

此外,在本书编写过程中,河南科技大学提供了良好的工作条件。在此,向参与和支持本书编写的老师及河南科技大学领导致以衷心的感谢。特别感谢河南科技大学教务处“教材出版基金”的资助。

同时,编写过程中参阅了同行专家学者和一些科研院所的教材、资料和文献,在此向文献作者致以诚挚感谢。由于编著者水平有限,书中难免存在不当之处和谬误,敬请各位专家及广大读者给予批评指正。

编著者





# 目 录

## 第一篇 工程制图基础

第 1 章 制图基本知识.....2	3.1.1 组合体的组合形式 .....45
1.1 制图国家标准 .....2	3.1.2 组合体的表面连接关系 .....46
1.1.1 图纸幅面及格式 .....2	3.1.3 组合体三视图画法 .....47
1.1.2 比例 .....4	3.1.4 组合体的尺寸标注 .....49
1.1.3 字体 .....5	3.2 轴测图.....51
1.1.4 图线 .....6	3.2.1 轴测图的定义 .....51
1.2 尺寸标注 .....7	3.2.2 轴测图的特性 .....51
1.2.1 尺寸标注基本规则.....8	3.2.3 轴测图的相关术语 .....52
1.2.2 尺寸组成.....8	3.2.4 轴测图的分类 .....53
1.2.3 标注示例.....9	3.2.5 轴测图的作图方法 .....53
1.3 平面图形分析与作图步骤 .....12	复习与思考 .....53
1.3.1 平面图形尺寸分析与线段 分析.....12	第 4 章 零件图与装配图 .....55
1.3.2 平面图形作图步骤.....14	4.1 零件图.....55
复习与思考.....15	4.1.1 零件图的内容 .....55
第 2 章 几何元素投影与图样表示法 .....16	4.1.2 零件的视图选择 .....56
2.1 几何元素投影 .....16	4.1.3 零件图的标注 .....58
2.1.1 投影法的基本知识.....16	4.2 装配图.....61
2.1.2 三视图的形成及投影规律...18	4.2.1 装配图的作用与内容 .....61
2.1.3 点的投影.....20	4.2.2 装配图的尺寸标注与技术 要求 .....63
2.1.4 直线及直线的投影特性.....23	4.2.3 装配图的序号及明细栏 .....63
2.1.5 平面的投影.....28	复习与思考 .....64
2.2 图样表示法 .....32	第 5 章 几何精度设计.....65
2.2.1 机件外部形状的表达—— 视图.....32	5.1 尺寸精度.....65
2.2.2 机件内部形状的表达—— 剖视图 .....35	5.1.1 公差与配合的基本概念 .....65
2.2.3 机件断面形状的表达—— 断面图 .....40	5.1.2 标准公差与基本偏差 .....67
2.2.4 机件局部细小结构的表达和 简化画法.....43	5.1.3 孔与轴的配合 .....69
复习与思考.....44	5.1.4 国标中规定的公差带与 配合 .....71
第 3 章 组合体与轴测图 .....45	5.1.5 公差与配合的选用 .....74
3.1 组合体.....45	5.1.6 尺寸公差与配合在图样中的 标注 .....80
	5.2 形状与位置精度.....80
	5.2.1 形状与位置精度的基本概念 ..80

5.2.2 形状公差·····	82	5.3.2 表面粗糙度的符号、代号 及标注·····	88
5.2.3 位置公差·····	83	复习与思考·····	90
5.3 表面精度·····	87		
5.3.1 表面精度的基本概念·····	87		

## 第二篇 医疗器械产品的机构设计

第6章 医疗器械产品机构设计基础·····	93	8.1.2 平面四杆机构的基本 特性·····	117
6.1 机构设计基本概念·····	93	8.2 凸轮与间歇运动机构·····	120
6.1.1 机构组成·····	93	8.2.1 凸轮机构·····	120
6.1.2 机构设计要求与流程·····	94	8.2.2 其他间歇运动机构·····	124
6.2 运动副与运动简图·····	95	8.3 齿轮机构·····	127
6.2.1 运动副的概念及分类·····	95	8.3.1 齿廓啮合的基本规律、特点 和类型·····	128
6.2.2 平面机构运动简图·····	96	8.3.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮 的啮合传动·····	132
6.3 平面机构自由度和速度分析·····	98	8.4 螺旋传动机构·····	133
复习与思考·····	102	8.5 挠性传动·····	135
第7章 医疗器械产品材料设计基础·····	104	8.5.1 带传动·····	135
7.1 医疗器械材料分类·····	104	8.5.2 链传动·····	137
7.1.1 金属材料·····	104	复习与思考·····	140
7.1.2 高分子材料·····	106	第9章 医疗器械常用零部件·····	141
7.1.3 无机非金属材料·····	107	9.1 弹性元件·····	141
7.1.4 复合材料·····	108	9.1.1 弹性元件的功用和分类·····	141
7.2 材料性能·····	109	9.1.2 螺旋弹簧·····	142
7.2.1 力学性能·····	109	9.2 轴承与导轨·····	146
7.2.2 物理和化学性能·····	110	9.2.1 轴承·····	146
7.2.3 工艺性能·····	111	9.2.2 导轨·····	150
7.3 医疗器械材料选择·····	111	9.3 轴、联轴器和离合器·····	152
7.3.1 选材的基本原则·····	112	9.3.1 轴·····	152
7.3.2 医疗器械设计选材方法·····	113	9.3.2 联轴器·····	157
复习与思考·····	114	9.3.3 离合器·····	160
第8章 医疗器械常用传动机构·····	115	复习与思考·····	162
8.1 平面连杆机构·····	115		
8.1.1 四杆机构的基本形式及其 演化·····	116		

## 第三篇 医疗器械产品的人机工程学设计

第10章 人机工程学与人体测量·····	164	10.3 医疗器械产品设计中常用的人体 数据·····	166
10.1 人机工程学的意义·····	164	10.3.1 人体主要尺寸·····	167
10.2 人机工程学在医疗器械设计中的 应用·····	165	10.3.2 立姿人体尺寸·····	167

10.3.3 坐姿人体尺寸 .....	168	设计 .....	178
10.3.4 人体水平尺寸 .....	170	11.2.1 坐姿近身操作空间 .....	178
10.3.5 人体头部尺寸 .....	171	11.2.2 站姿近身操作空间 .....	178
10.3.6 人体手部尺寸 .....	172	11.2.3 脚作业空间 .....	179
10.4 医疗器械产品设计中人体测量 数据的应用原则 .....	173	11.3 医疗器械产品作业面与作业 岗位设计 .....	180
10.4.1 人体数据应用的基本 要求 .....	173	11.3.1 医疗器械产品作业面 设计 .....	180
10.4.2 应用人体尺寸数据时应 注意的要点 .....	173	11.3.2 医疗器械产品作业岗位 类型 .....	180
10.5 设计用人体模板 .....	174	11.3.3 医疗器械产品作业岗位 设计要求和原则 .....	181
复习与思考 .....	175	11.4 手工作业岗位和视觉信息作业 岗位 .....	182
<b>第 11 章 医疗器械产品作业空间设计 .....</b>	<b>176</b>	11.4.1 手工作业岗位的类型 .....	182
11.1 作业空间设计 .....	176	11.4.2 手工作业岗位尺寸设计 .....	183
11.1.1 医疗器械产品作业空间 的分类 .....	176	11.4.3 视觉信息作业岗位设计 .....	184
11.1.2 医疗器械产品作业场所 布置的基本要求 .....	177	11.4.4 视觉信息作业岗位的 人体尺寸 .....	185
11.1.3 医疗器械产品布置顺序 .....	178	复习与思考 .....	185
11.2 医疗器械产品近身操作空间 .....			

## 第四篇 医疗器械产品的造型设计

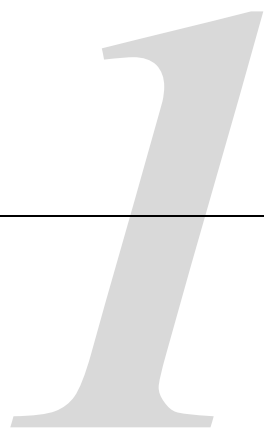
<b>第 12 章 医疗器械产品的造型设计 .....</b>	<b>187</b>	复习与思考 .....	197
12.1 医疗器械产品外观设计的现状 .....	187	<b>第 13 章 医疗器械产品造型设计实例 .....</b>	<b>198</b>
12.2 医疗器械产品人机系统尺度的 选择 .....	188	13.1 颈颅超声溶栓治疗仪简介和治疗 原理 .....	198
12.3 医疗器械产品外观设计的注意 要点 .....	188	13.1.1 原有机型的问题 .....	198
12.4 医疗器械产品外观设计原则 .....	189	13.1.2 设计改良的方向 .....	199
12.5 医疗器械产品形态创意的视觉 美学特征 .....	190	13.1.3 超声治疗仪造型创意 设计 .....	200
12.6 医疗器械产品形态创意的基本 方法 .....	192	13.1.4 设计修改和三维方案设计 定型 .....	202
12.6.1 几何形造型 .....	192	13.2 药浴熏蒸机简介和治疗原理 .....	203
12.6.2 仿生造型 .....	193	13.2.1 市场调研和同类产品 分析 .....	204
12.7 医疗器械产品的色彩设计 .....	194	13.2.2 设计定位 .....	205
12.7.1 色彩的基本属性 .....	194	13.2.3 创意设计方​​案 .....	207
12.7.2 常用的色彩设计方法 .....	194	13.2.4 方案选定和设计修改 .....	208
12.8 “以人为中心”的医疗器械设计 思想 .....	196	复习与思考 .....	212

## 第五篇 医疗器械产品的计算机辅助设计

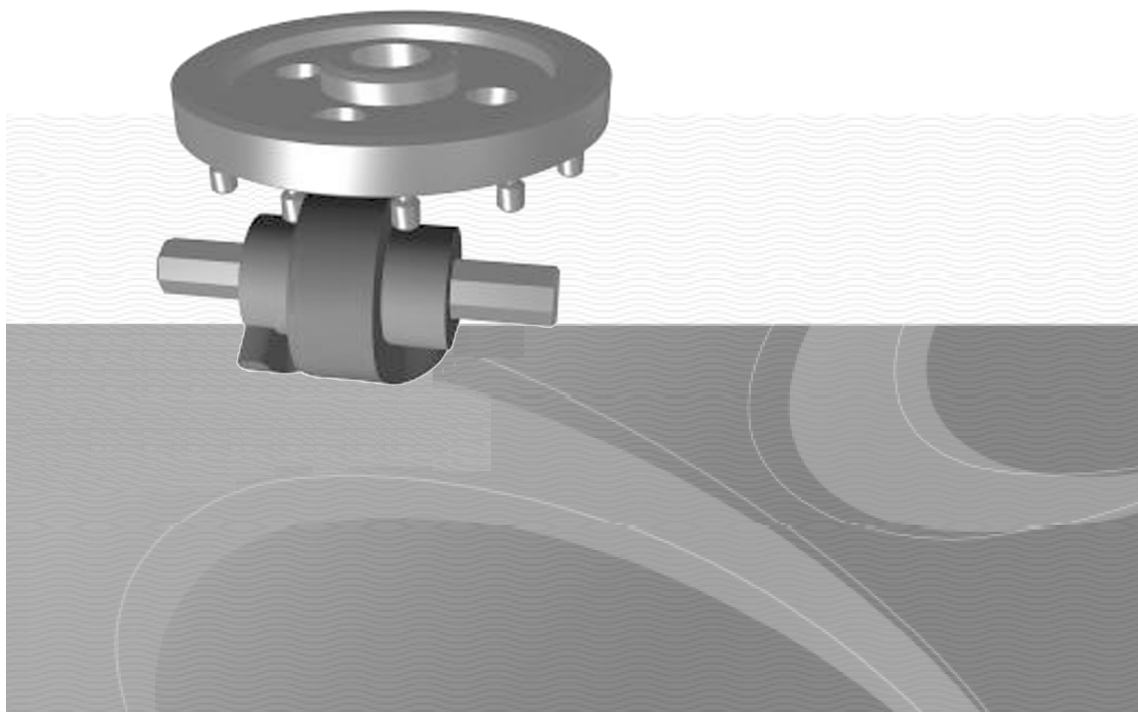
第 14 章 SolidWorks 设计基础.....214	14.6.1 装配体的基本操作..... 240
14.1 SolidWorks 用户界面与基本 操作..... 214	14.6.2 装配体的配合方式..... 242
14.1.1 用户界面..... 214	14.6.3 干涉检查..... 243
14.1.2 基本操作..... 217	14.7 工程图设计..... 243
14.2 草图绘制..... 219	14.7.1 工程图的基本操作..... 244
14.2.1 草图绘制基础..... 220	14.7.2 工程视图..... 244
14.2.2 绘制草图实体..... 220	14.7.3 工程图的尺寸标注与 注解..... 246
14.3 参考几何体..... 230	14.7.4 装配体明细表..... 247
14.3.1 参考基准面..... 230	复习与思考..... 249
14.3.2 基准轴..... 231	第 15 章 医疗器械产品结构设计实例.....251
14.4 创建基本特征..... 231	15.1 生化取样装置的特点及功能 要求..... 251
14.4.1 拉伸..... 232	15.2 生化取样装置总体结构方案 设计..... 252
14.4.2 旋转..... 233	15.3 生化取样装置结构建模..... 254
14.4.3 扫描..... 234	15.3.1 零件建模..... 254
14.4.4 放样..... 235	15.3.2 装配体建模..... 256
14.5 编辑基本特征..... 236	15.3.3 干涉检查与修复..... 256
14.5.1 圆角与倒角..... 236	15.4 生化取样装置工程图设计..... 257
14.5.2 孔特征..... 237	15.4.1 零件工程图设计..... 257
14.5.3 筋特征..... 238	15.4.2 装配体工程图设计..... 258
14.5.4 镜向特征..... 238	复习与思考..... 260
14.5.5 阵列特征..... 239	
14.6 装配体设计..... 240	

# 第一篇

## 工程制图基础



医疗器械产品结构设计有别于普通工业产品的结构设计。首先，医疗器械产品面对的操作和使用对象都是人，因此应首要考虑安全性问题；其次，医疗器械产品的负载一般不大，速度一般也不高，但对产品的稳定性和平稳性要求较高；最后，对于一些诊断、检验类设备，对产品的重复准确度要求较高，因此就要求这类医疗器械产品具有很高的设计和加工精度。而工程制图则是进行医疗器械产品结构设计和保证产品安全性、稳定性和精密性的基础，这一部分将根据医疗器械产品的结构特点，有针对性地对制图国家标准、三视图的投影规律、图样的表达方法、基本几何体的构成、零件图、装配图、工程图的标注等内容进行介绍。



# 第 1 章

## 制图基本知识

### 1.1 制图国家标准

我国于 1959 年首次发布了国家标准《机械制图》，对图样做了统一规定。为适应经济和科学技术发展的需要，又多次重新修订国家标准《机械制图》。为了与国际接轨，国家质量技术监督局依据国际标准化组织制定的国际标准，制定并发布了国家标准《技术制图》和《机械制图》，简称“国标”，用 GB 或 GB/T（GB 为强制性国家标准，GB/T 为推荐性国家标准）表示。在绘制工程图样时必须严格遵守国家标准。

#### 1.1.1 图纸幅面及格式

##### 1. 图纸幅面

图纸的基本幅面共五种，分别用 A0、A1、A2、A3、A4 表示，必要时可依规定加长幅面，如图 1-1 所示。应优先采用表 1-1 规定的基本幅面。

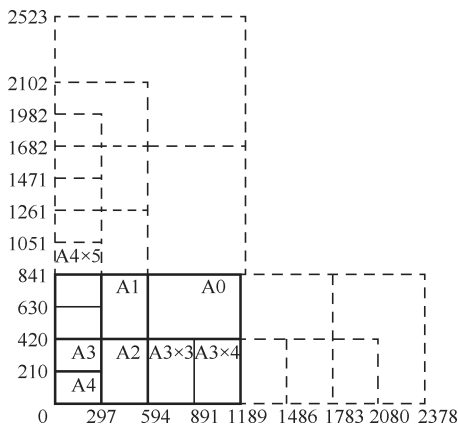


图 1-1 图纸幅面及加长幅面

表 1-1 图纸基本幅面代号及尺寸 (mm)

幅 面 代 号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
$a$	25				
$c$	10			5	
$e$	20		10		

2. 图框格式

在图纸上必须用粗实线画出图框，其格式分为留装订边和不留装订边两种，如图 1-2、图 1-3 所示，其尺寸见表 1-1。同一产品的图样只能采用一种图框格式。

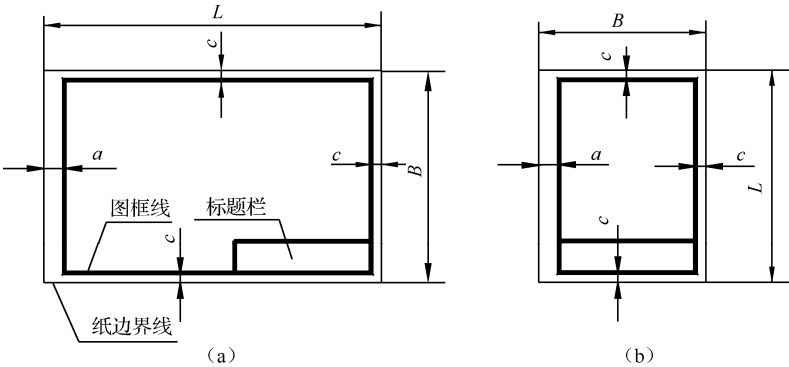


图 1-2 留装订边的图框格式

3. 标题栏

标题栏用来填写零部件名称、所用材料、图形比例、图号、单位名称及设计、审核、批准等有关人员的签字。每张图纸的右下角都应有标题栏，方向一般为看图的方向。在正规的图纸上，标题栏的格式和尺寸应按 GB 10609.1—1989 的规定绘制，如图 1-4 所示。

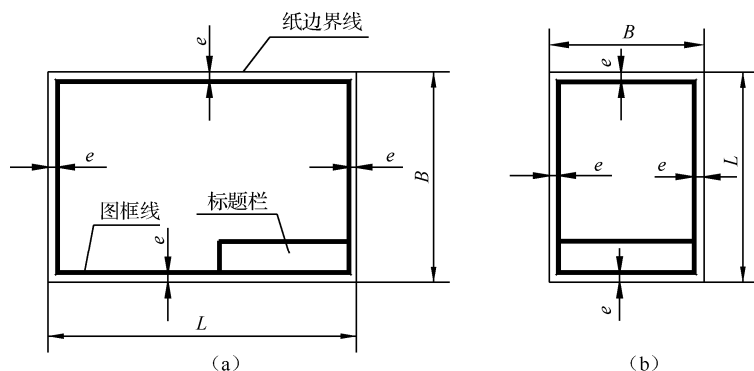


图 1-3 不留装订边的图框格式

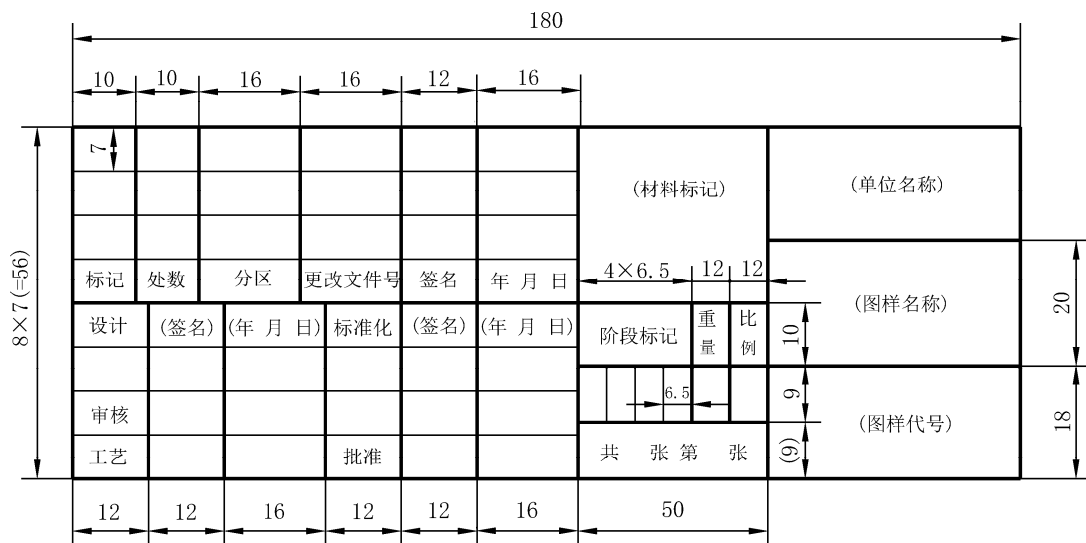


图 1-4 标题栏

## 1.1.2 比例

图样的比例是指图形要素的线性尺寸与实物相应要素的线性尺寸之比。图样比例分为原值比例、放大比例、缩小比例三种。绘图时，应在表 1-2 规定的系列中选取适当比例，优先选取第一系列，必要时可选第二系列。不论采用何种比例绘图，尺寸数值均按原值注出，如图 1-5 所示。

表 1-2 比例系列

种 类	比例系列一	比例系列二
原值比例	1 : 1	
放大比例	2 : 1	2.5 : 1
	5 : 1	4 : 1
	$1 \times 10^n : 1$	$2.5 \times 10^n : 1$
	$2 \times 10^n : 1$	$4 \times 10^n : 1$
	$5 \times 10^n : 1$	



续表

种 类	比例系列一	比例系列二
缩小比例		1 : 1.5
		1 : 2.5
	1 : 2	1 : 3
	1 : 5	1 : 4
	1 : 10	1 : 6
	1 : 2×10 <sup>n</sup>	1 : 1.5×10 <sup>n</sup>
	1 : 5×10 <sup>n</sup>	1 : 2.5×10 <sup>n</sup>
	1 : 1×10 <sup>n</sup>	1 : 3×10 <sup>n</sup>
		1 : 4×10 <sup>n</sup>
		1 : 6×10 <sup>n</sup>

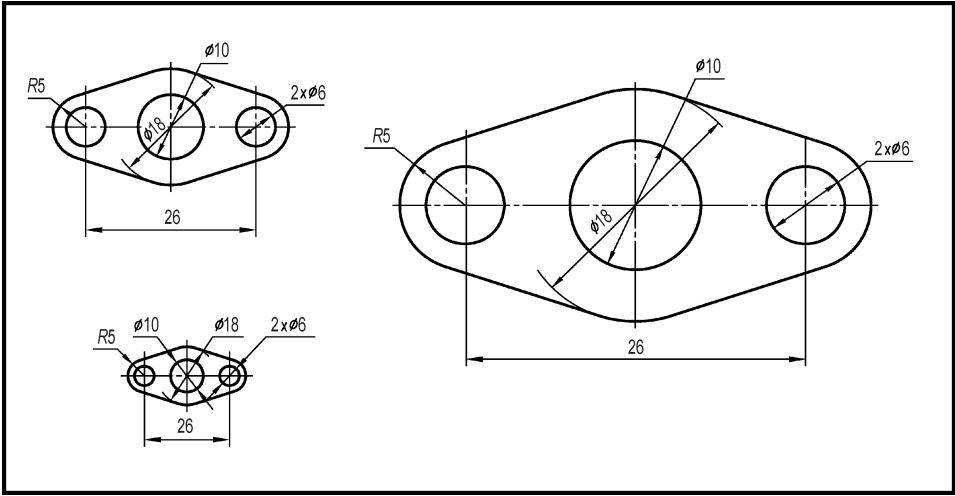


图 1-5 不同比例绘图 的尺寸标注

1.1.3 字体

图样中除了用视图表示机件的结构形状外，还要用文字和数字说明机件的技术要求和大小。

1. 基本要求

国家标准对图样中的汉字、拉丁字母、希腊字母、阿拉伯数字、罗马数字的形式做了规定。

(1) 图样上所注写的汉字、数字、字母必须做到：字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐。这样要求的目的是使图样清晰，文字准确，便于识读，便于交流，给生产和科研带来方便。

(2) 字体的字号规定了八种：20、14、10、7、5、3.5、2.5、1.8。字体号数即是字体高度。如 10 号字，它的字高为 10mm。

(3) 汉字应写成长仿宋体字，并应采用中华人民共和国国务院正式公布推行的《汉字简化方案》中规定的简化字。汉字的高度  $h$  不应小于 3.5mm，如图 1-6 所示。

字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐

图 1-6 汉字书写样式

(4) 字母和数字分斜体和直体两种。斜体字的字体头部向右倾斜  $15^\circ$ 。字母和数字各分 A 型和 B 型两种字体。A 型字体的笔画宽度为字高的  $1/14$ ，B 型为  $1/10$ ，如图 1-7 所示。



图 1-7 字母、数字书写样式

## 2. 图样中书写规定与示例

(1) 用作指数、分数、极限偏差、注脚等的数字及字母一般应采用小一号的字体，如图 1-8 所示。

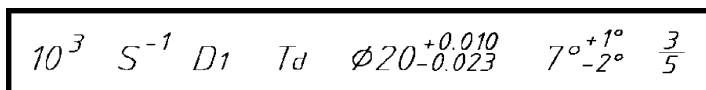


图 1-8 书写示例

(2) 图样中的数学符号、物理量符号、计量单位符号及其他符号、代号，应分别符合国家的有关法令和标准的规定，如图 1-9 所示。

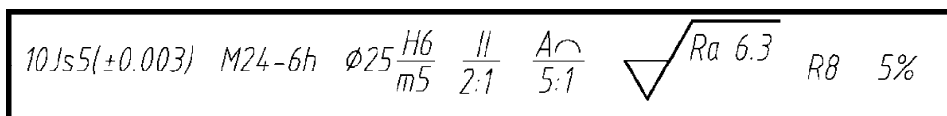





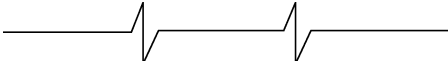
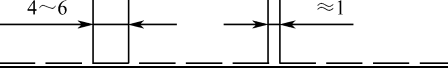



图 1-9 书写示例

## 1.1.4 图线

### 1. 线型

国家标准规定了技术制图所用图线的名称、形式、结构、标记及画法规则，适用于各种技术图样。GB/T 17450—1998 中规定了绘制各种技术图样的 15 种基本线型。医疗器械常用线型有 8 种，如表 1-3 所示。

表 1-3 医疗器械常用线型

图 线 名 称	图 线 形 式	主 要 用 途
粗实线		可见轮廓线、可见棱边
细实线		尺寸线、尺寸界线、剖面线
波浪线		断裂的边界线
双折线		断裂处的分界线
虚线		不可见轮廓线、不可见棱边
细点画线		对称线、中心线
粗点画线		有特殊要求的表面的表示线
双点画线		假想投影轮廓线、中断线

2. 线宽

所有线型的图线宽度（ $d$ ）应按图样的类型和尺寸大小在下列数系中选择（单位为 mm）：0.13、0.18、0.25、0.35、0.5、0.7、1.0、1.4、2。在同一图样中，同类图线的宽度应一致。机械工程图样上采用两类线宽，称为粗线和细线，其宽度比例关系为 2 : 1。

3. 图线的应用

工程图中各部分的图线要求是不同的，具体各部分图线要求如图 1-10 所示。

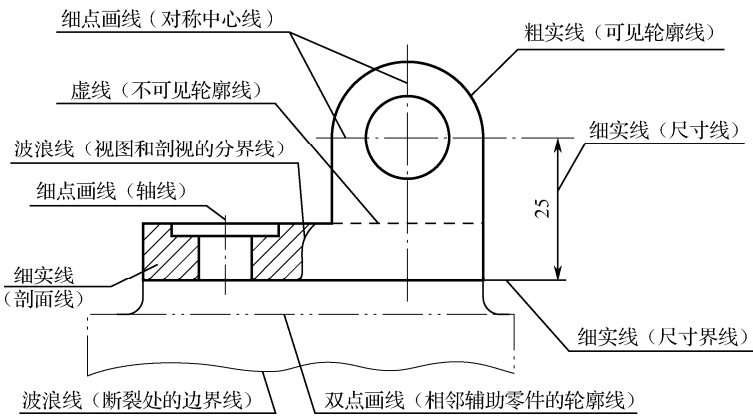


图 1-10 图线应用示例

1.2 尺寸标注

图形只能反映物体的结构形状，物体的真实大小要靠所标注的尺寸来决定。

## 1.2.1 尺寸标注基本规则

(1) 机件的真实大小应以图样上所注的尺寸数值为依据，与图形的大小（即所采用的比例）及绘图的准确度无关。

(2) 图样中（包括技术要求和其他说明）的尺寸以毫米为单位时，不需标注单位的符号（或名称）；如采用其他单位，则应注明相应的单位符号。

(3) 图样中所标注的尺寸为该图样所示机件的最后完工尺寸，否则应另加说明。

(4) 机件的每一尺寸一般只标注一次，并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

## 1.2.2 尺寸组成

标注一个尺寸，一般应包括尺寸界线、尺寸线和尺寸数字三个部分，如图 1-11 所示。

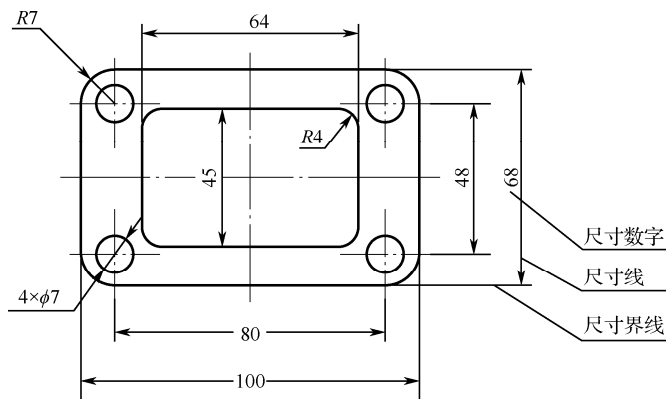


图 1-11 尺寸标注示例

### 1. 尺寸界线

(1) 尺寸界线用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线引出。也可利用图形的轮廓线、轴线或对称中心线作为尺寸界线。

(2) 尺寸界线一般应与尺寸线垂直，必要时才允许倾斜。

(3) 在光滑过渡处标注尺寸时，应用细实线将轮廓线延长，从它们的交点处引出尺寸界线。

(4) 标注角度的尺寸界线应沿径向引出，标注弦长的尺寸界线应平行于该弦的垂直平分线，标注弧长的尺寸界线应平行于该弧所对的圆心角的角平分线。

### 2. 尺寸线

(1) 尺寸线为细实线，一端或两端带有终端符号（箭头或斜线）。

(2) 尺寸线不能用其他图线代替，也不得与其他图线重合。

(3) 标注线性尺寸时尺寸线必须与所标注的线段平行。

### 3. 尺寸数字

尺寸数字用来表示所注尺寸的数值，是图样中指令性最强的部分。要求注写尺寸时一定要

认真仔细、字迹清楚，应避免可能造成误解的一切因素。

注写尺寸数字时应符合下列规定：

### 1) 线性尺寸数字的注写位置

水平方向的尺寸一般应注写在尺寸线的上方；铅垂方向的尺寸一般应注写在尺寸线的左方；倾斜方向的尺寸一般应在尺寸线靠上的一方。也允许注写在尺寸线的中断处。

### 2) 线性尺寸数字的注写方向

水平尺寸的数字字头向上；铅垂尺寸的数字字头朝左；倾斜尺寸的数字字头应有朝上的趋势。

## 1.2.3 标注示例

### 1. 角度尺寸

角度尺寸界线沿径向引出，角度尺寸线应画成圆弧，其圆心是该角的顶点，角度尺寸数字一律水平注写，如图 1-12 所示。

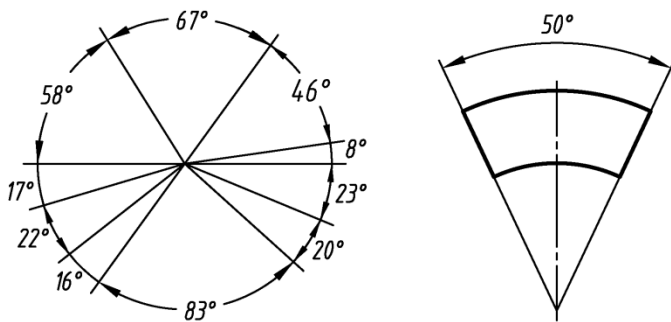


图 1-12 角度尺寸标注示例

### 2. 圆的直径

直径尺寸应在尺寸数字前加注符号“ $\phi$ ”，尺寸线通过圆心，尺寸线终端画成箭头，整圆或大于半圆标注直径，如图 1-13 所示。

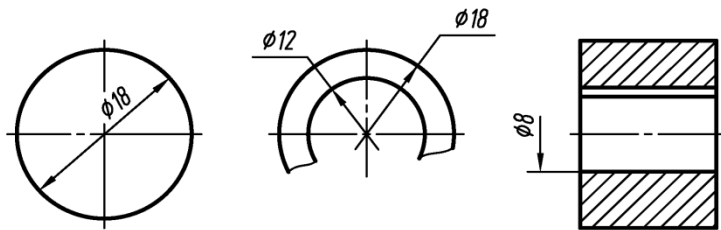


图 1-13 圆的直径标注示例

### 3. 圆的半径

半径尺寸数字前加注符号“ $R$ ”，半径尺寸必须注在投影为圆弧的图形上，且尺寸线应通过圆心，半圆或小于半圆的圆弧标注半径尺寸，如图 1-14 所示。

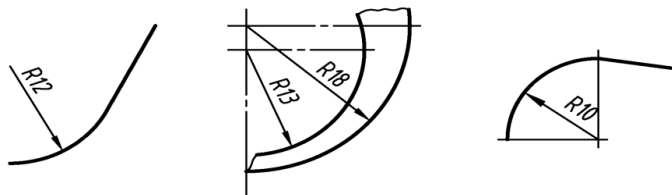


图 1-14 圆的半径标注示例

### 4. 大圆弧

当圆弧半经过大，在图纸范围内无法标出圆心位置，按图 1-15 (a) 所示标注，若不需要标出圆心位置，则按如图 1-15 (b) 所示标注，如图 1-15 所示。

### 5. 对称件

当对称机件的图形只画一半或略大于一半时，尺寸线应略超过对称中心或断裂处的边界线，并在尺寸线一端画出箭头，如图 1-16 所示。

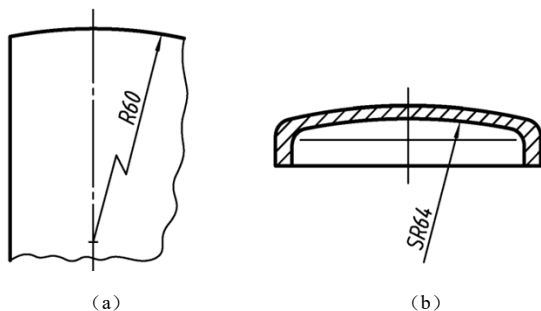


图 1-15 大圆弧标注示例

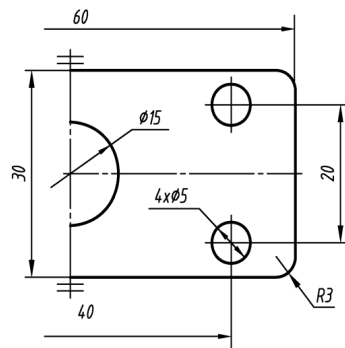


图 1-16 对称件标注示例

### 6. 弦长与弧长

标注弧长时，应在尺寸数字左面加注符号“ $\frown$ ”。弦长及弧长的尺寸界线应平行于该弦的垂直平分线，当弧较大时，尺寸界线可沿径向引出，如图 1-17 所示。

### 7. 斜度和锥度

斜度和锥度的标注符号应与斜度和锥度的方向一致，符号的线宽为  $h/10$ ，如图 1-18 所示。

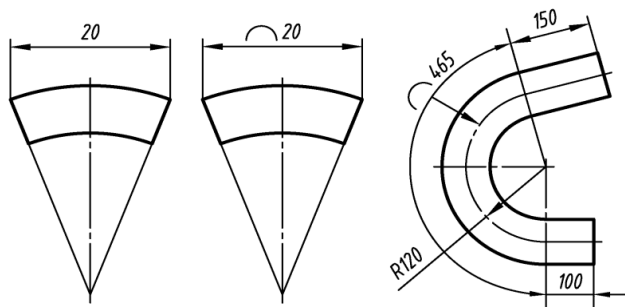


图 1-17 弦长与弧长标注示例

## 8. 球面

标注球面直径或半径时，应在“ $\phi$ ”或“ $R$ ”前面加注符号“ $S$ ”。对标准件，轴或手柄的前端，在不引起误解的情况下，可以省略符号“ $S$ ”，如图 1-19 所示。

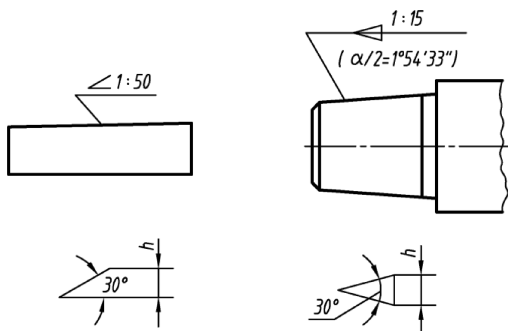


图 1-18 斜度和锥度标注示例

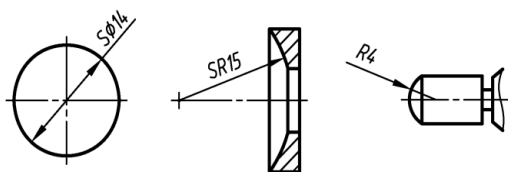


图 1-19 球面标注示例

## 9. 光滑过渡处

在光滑过渡处标注尺寸时，须用细实线将轮廓线延长，从交点处引出尺寸界线。当尺寸界线过于靠近轮廓线时，允许倾斜画出，如图 1-20 所示。

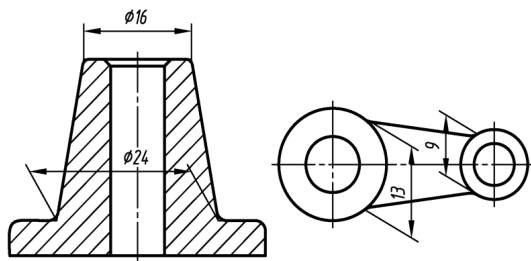


图 1-20 光滑过渡处标注示例

## 10. 狭小部位尺寸标注

狭小部位尺寸标注示例如图 1-21 所示。

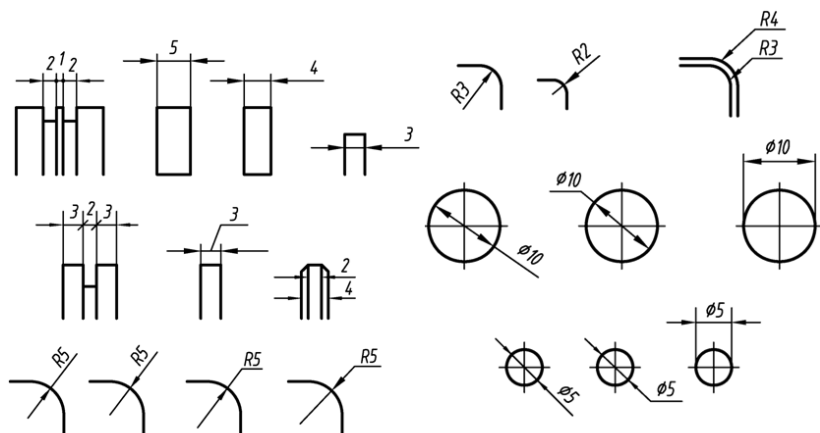


图 1-21 狭小部位尺寸标注示例

## 1.3 平面图形分析与作图步骤

在平面图形中,有些线段可以根据所给定的尺寸直接画出;而有些线段则需利用线段连接关系,找出潜在的补充条件才能画出。要处理好这方面问题,就必须首先对平面图形中各尺寸的作用、各线段的性质及它们间的相互关系进行分析,只有在此基础上才能确定正确的画图步骤及正确、完整地标注尺寸。

### 1.3.1 平面图形尺寸分析与线段分析

#### 1. 尺寸分析

(1) 定形尺寸: 用于确定平面图形中各线段形状大小的尺寸。如用以确定图形中直线段的长度、圆弧的直径和半径、角度的大小等尺寸,如图 1-22 所示。

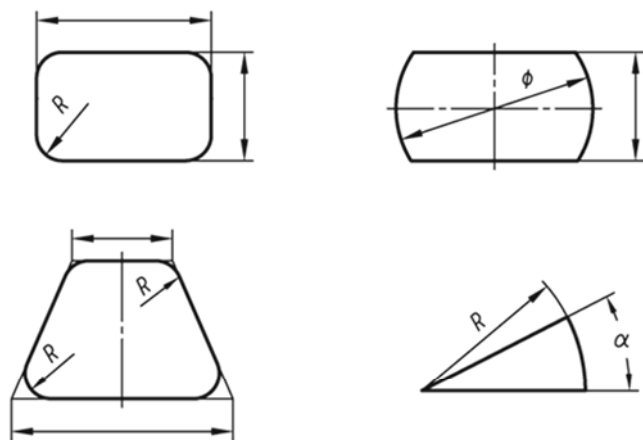


图 1-22 定形尺寸示例



(2) 定位尺寸：用于确定平面图形中各线段或线框间相对位置的尺寸，如图 1-23 所示。

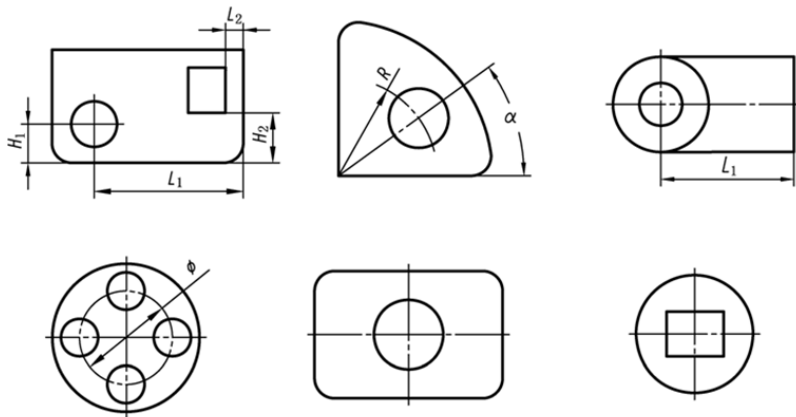


图 1-23 定位尺寸示例

(3) 尺寸基准：尺寸基准是指注写尺寸或计量尺寸的起点。通常是对称线、中心线和基准线，如图 1-24 所示。

## 2. 线段分析

平面图形的线段分为已知线段、中间线段和连接线段。凡定形和定位尺寸齐全，作图时可直接画出的线段，称为已知线段；给出的定位尺寸不全，必须依靠附加的一个几何条件才能画出的线段，称为中间线段；只给出定形尺寸，作图时要利用两线相切的几何条件才能画出的线段，称为连接线段。如图 1-25 所示，已知线段为 22、92、52、 $\phi 25$  和  $\phi 14$ ，中间线段为  $R50$ 、 $R32$ 、6 和  $45^\circ$ ，连接线段为  $R18$ 、 $R12$ 、 $R8$  和  $R10$ 。

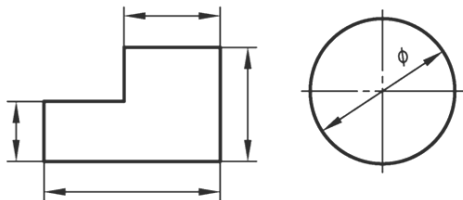


图 1-24 尺寸基准示例

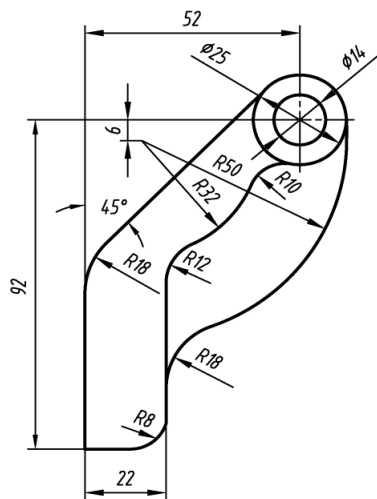


图 1-25 线段分析示例

## 1.3.2 平面图形作图步骤

### 1. 平面绘图一般步骤

(1) 准备工作;

① 阅读有关参考资料, 了解所画图形的内容和要求。

② 熟练使用绘图软件。

(2) 选定图幅和比例, 估计图形大小, 确定图纸幅面。

(3) 选定图纸。

(4) 绘制草图, 先画图形的基准线、对称线、中心线及主要轮廓线, 然后由大到小、由整体到局部, 画出其他所有图线。

(5) 标注尺寸。

### 2. 平面图形尺寸标注方法

(1) 将平面图形分解为一个基本图形和几个子图形。

(2) 确定基本图形的尺寸基准。

(3) 标注定形尺寸。

(4) 确定各子图形的基准, 标注定位尺寸。

平面图形标注示例如图 1-26、图 1-27 所示。

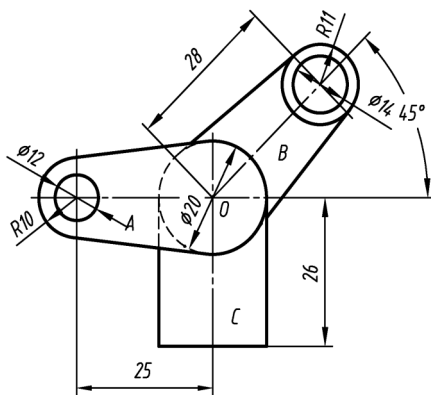


图 1-26 平面图形标注示例 1

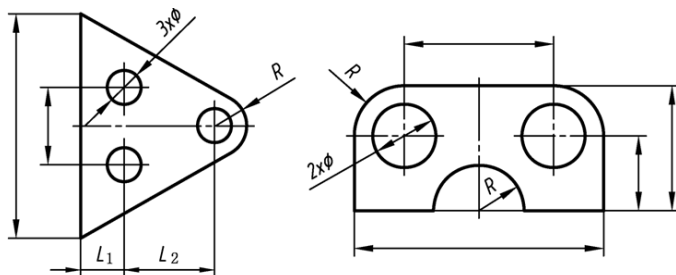


图 1-27 平面图形标注示例 2

## 复习与思考

1. 图纸幅面的代号有哪几种？其尺寸分别有什么规定？不同幅面代号的图纸之间有什么关系？
2. 什么是比例？图样上标注的尺寸与画图比例有无关系？
3. 工程图样对字体有哪些要求？长仿宋体的特点是什么？字体的号数说明什么？
4. 一个完整的尺寸由哪些要素组成？各有哪些基本规定？

## 第2章

# 几何元素投影与图样表示法

### 2.1 几何元素投影

工程中的各种技术图样是使用一定的投影方法绘制的，为了正确地画出机械工程图样和物体的投影，必须首先讨论和研究几何元素的投影规律。本节首先介绍几何元素的投影特性及各种几何元素之间的相互位置关系。

#### 2.1.1 投影法的基本知识

##### 1. 投影法

物体在光源的照射下会留下影子。投影法就是从这一自然现象抽象出来，并随着科学技术的发展而发展起来的。如图 2-1 所示， $S$  为光源，抽象为投影中心， $A$  为空间一点，特定位置平面  $P$  抽象为投影面， $S-A$  两点连线为投影线， $SA$  的延长线与投影面  $P$  的交点  $a$  即为空间点  $A$  在投影面上的投影。这种确定空间物体投影的方法，称为投影法。

## 2. 平行投影法

常用投影方法：中心投影法和平行投影法。

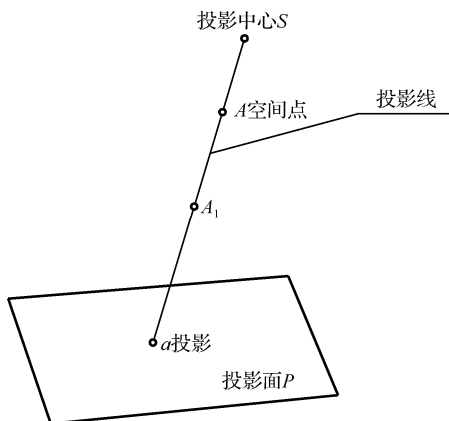


图 2-1 投影法

### 1) 中心投影法

所有投影线从同一投影中心发出的投影方法，称为中心投影法。图 2-2 所示即为三角形物体采用中心投影法在投影面上得到的投影三角形。

中心投影法得到的物体的投影大小与物体的位置有关。在投影中心和投影面位置不变的情况下，当物体靠近或远离投影面时，投影会变大或变小。且中心投影法不能反映物体的真实大小。

这种投影方法具有较强的直观性，立体感好。此种投影方法主要用于建筑透视图的绘制。

### 2) 平行投影法

如果将中心投影法的投影中心移至无穷远处，所有的投影线相互平行，这种投影方法称为平行投影法，如图 2-3 所示。根据投影线与投影面的相对位置关系，平行投影法又可分为斜投影法和正投影法。

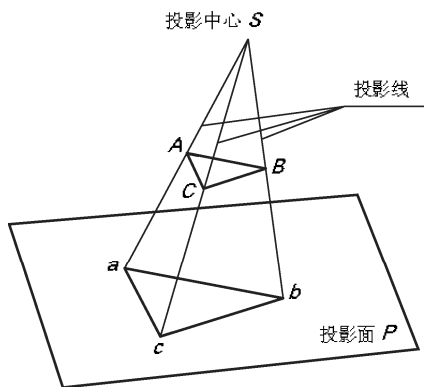


图 2-2 中心投影法

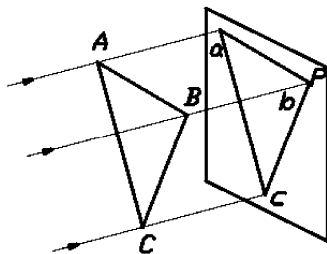


图 2-3 平行投影法

(1) 斜投影法：投影线与投影面相倾斜（两者非垂直关系）的平行投影法，如图 2-4 (a) 所示。

(2) 正投影法：投影线与投影面相互垂直的平行投影法，如图 2-4 (b) 所示。用正投影法绘制的投影图直观性差，但其度量性好。即使改变物体与投影面之间的距离，其投影也不改变大小和形状。所以，机械制图多采用正投影法绘制。

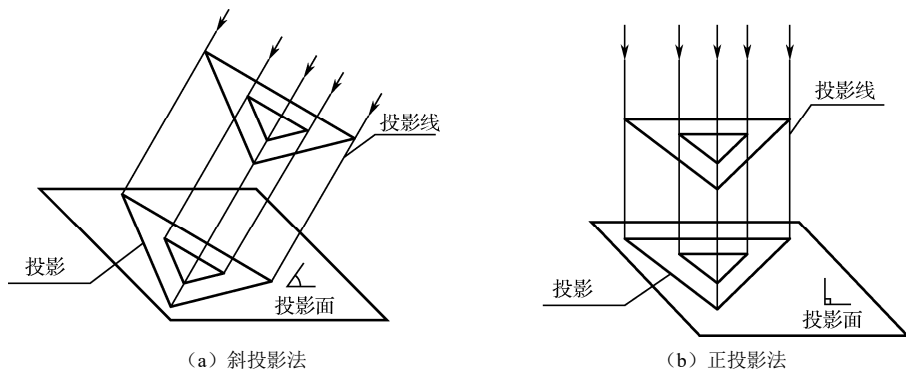


图 2-4 平行投影法

## 2.1.2 三视图的形成及投影规律

### 1. 三面投影体系

以相互垂直的三个平面作为投影面，组成三面投影体系，如图 2-5 所示。正立位置的投影面称为正立投影面，简称正面（也可称之为  $V$  面）；水平放置的投影面称为水平投影面，简称水平面（也可称之为  $H$  面）；侧立放置的投影面称为侧立投影面，简称侧面（也可称之为  $W$  面）。三个投影面的交线称为投影轴，分别用  $OX$ 、 $OY$ 、 $OZ$  表示。

如图 2-6 所示，两个投影面  $V$  面、 $H$  面将空间分成的四个区域称为四个分角：第 I 分角、第 II 分角、第 III 分角和第 IV 分角。

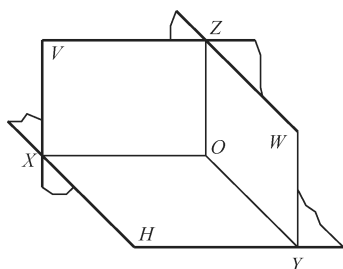


图 2-5 三面投影体系

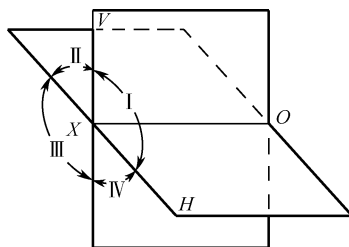


图 2-6 四个分角

将物体放置在第 I 分角内，使其处于观察者和投影面之间而得到正投影的方法称为第一角画法。将物体放置在第 III 分角内，使投影面处于物体和观察者之间而得到正投影的方法称为第三角画法。本书只重点讲述第一角中的几何体的投影。

### 2. 三视图的形成

在绘制机械图样时，将物体放置在三面投影体系中，将物体向投影面正投影所得的图形称为视图。如图 2-7 (a) 所示，物体由前向后投影所得的图形（正面投影）称为主视图；物体由

上向下投影所得图形（水平投影）称为俯视图；物体由左向右投影所得图形（侧面投影）称为左视图。

在视图中，国家标准规定物体表面可见轮廓的投影用粗实线表示，不可见轮廓投影用细虚线表示，如图 2-7（a）所示。

为了使三个视图能在一张图纸上，规定保持正投影面不动，水平投影面向下旋转  $90^\circ$ ，侧投影面向右旋转  $90^\circ$ ，如图 2-7（b）所示。这样，就使得三个视图处于同一平面上，简称三视图，如图 2-7（c）所示。为了便于画图和看图，在三视图中不画投影面的边框线，视图的名称（如主视图、左视图等）也不必标出。

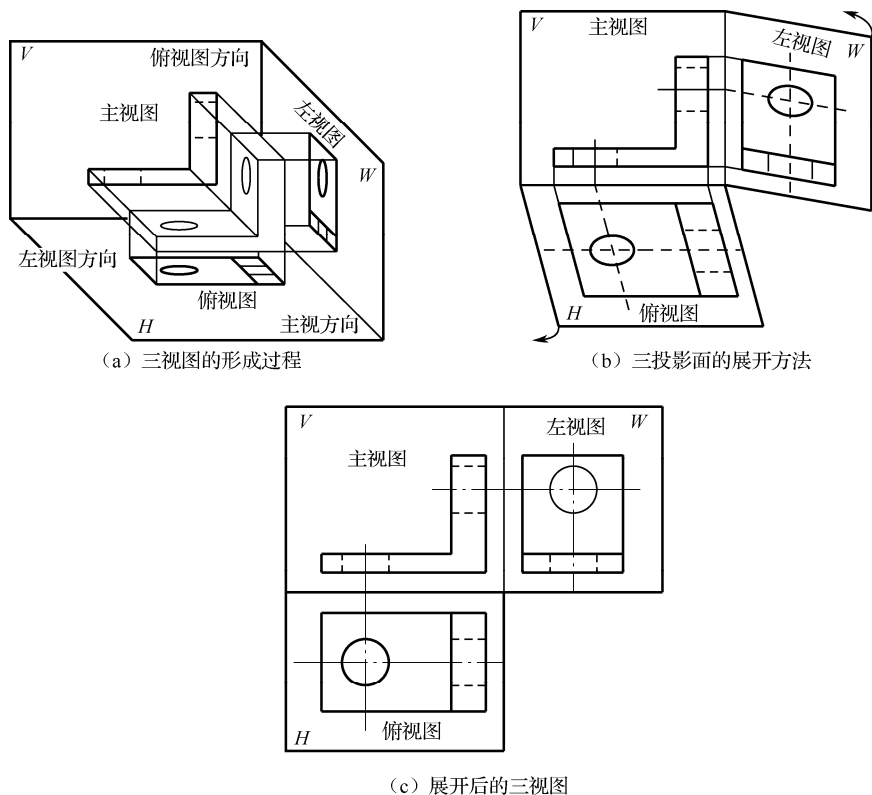


图 2-7 三视图的形成

### 3. 三视图的投影规律

#### 1) 度量对应关系

物体有长、宽、高三个方向的尺寸，取  $OX$  轴方向为长度尺寸， $OY$  轴方向为宽度尺寸， $OZ$  轴方向为高度尺寸。

由图 2-8（a）可看出，主视图反映物体的长度和高度，俯视图反映物体的长度和宽度，左视图反映物体的高度和宽度，故三视图间的度量对应关系为：

- 主视图和俯视图长度相等且对应；
- 主视图和左视图高度相等且平齐；
- 左视图和俯视图宽度相等且对应。

在画图时，应特别注意三视图之间“长对正、高平齐、宽相等”的“三等”对应关系。

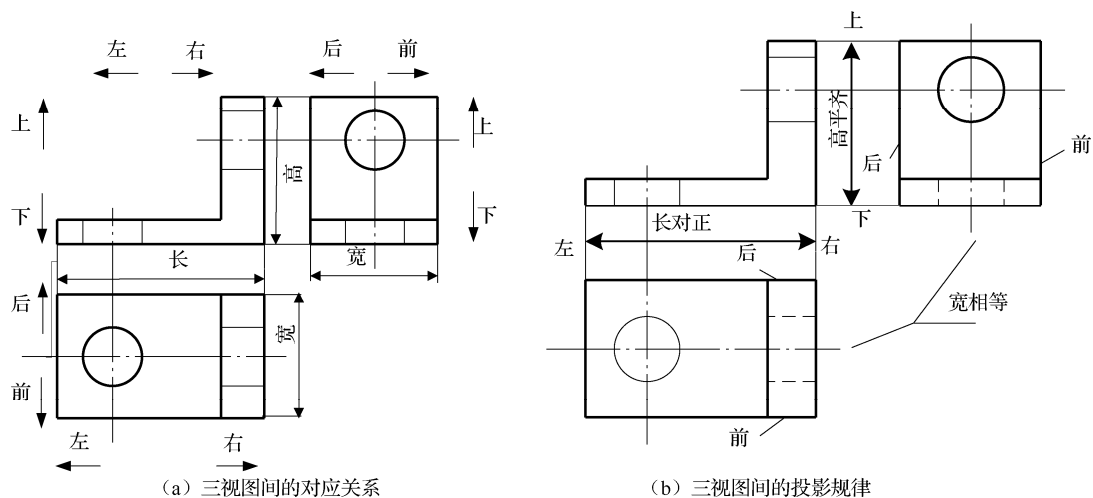


图 2-8 三视图的投影规律

## 2) 方位对应关系

物体有上、下、左、右、前、后六个方位，由图 2-8 可看出：

- 主视图反映物体的上、下和左、右方位；
- 俯视图反映物体的前、后和左、右方位；
- 左视图反映物体的上、下和前、后方位。

若以主视图为中心来看俯视图和左视图，则靠近主视图的一侧为物体的后面，远离主视图的一侧为物体的前面。

## 2.1.3 点的投影

### 1. 点在一个投影面上的投影

如图 2-9 (a) 所示，由空间点  $A$  的投影线与投影面  $P$  的交点  $a$  称为点  $A$  在投影面  $P$  上的投影。

点的空间位置确定后，它在一个投影面上的投影是唯一确定的。但是，若只有点的一个投影，则不能唯一确定点的空间位置 [如图 2-9 (b) 所示]，因此工程上多采用多面投影。

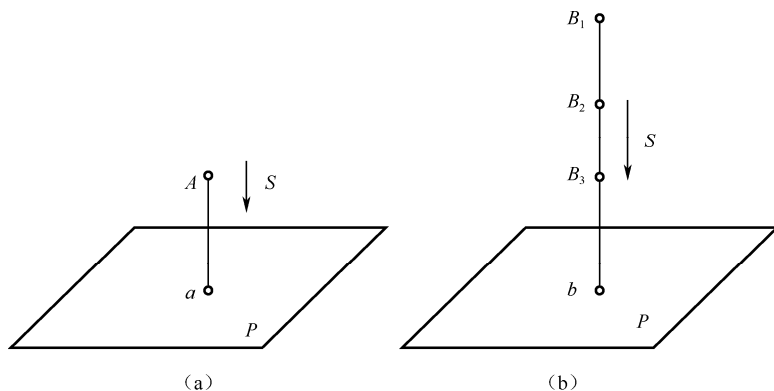


图 2-9 点的单面投影



## 2. 点在三面投影体系中的投影

### 1) 点的三面投影

如图 2-10 (a) 所示, 将空间点  $A$  分别向  $H$ 、 $V$ 、 $W$  三个投影面投影, 得到点  $A$  的三个投影  $a$ 、 $a'$ 、 $a''$  分别称为点  $A$  的水平投影、正面投影和侧面投影。展开后如图 2-10 (b) 所示, 画图时不必画出投影面的边框。

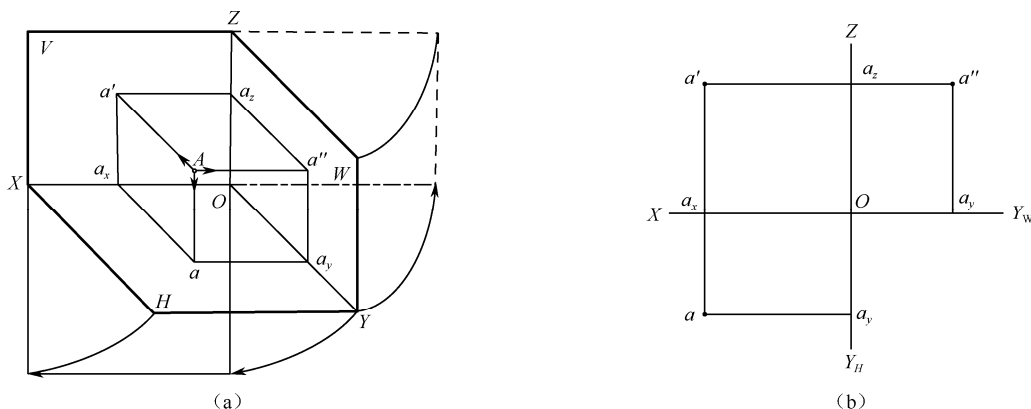


图 2-10 点的三面投影

### 2) 点的三面投影的投影特性

由图 2-10 (b) 不难看出, 点的三面投影具有下列特点:

(1) 点的正面投影与水平投影的连线垂直于  $OX$  轴, 即  $aa' \perp OX$ ; 点的正面投影与侧面投影的连线垂直于  $OZ$  轴, 即  $a'a'' \perp OZ$ 。

(2) 点的水平投影到  $OX$  轴的距离等于点的侧面投影到  $OZ$  轴的距离, 即

$$aa_x = a''a_z$$

$a'a_x = a''a_y$  表示点  $A$  到  $H$  面的距离;

$aa_x = a''a_z$  表示点  $A$  到  $V$  面的距离;

$aa_y = a'a_z$  表示点  $A$  到  $W$  面的距离。

由此可以概括出点的三面投影特性:

(1) 点的投影连线垂直于投影轴。

(2) 点的投影到投影轴的距离等于点的坐标, 也就是该点与对应的相邻投影面的距离。

根据上述投影特性, 在点的三面投影中, 只要知道其中任意两个面的投影, 就可以求出第三面的投影。

图 2-11 (b) 是  $V$  面上的点  $B$ ,  $H$  面上的点  $C$  和  $OX$  轴上的点  $D$  的三面投影, 从图 2-11 (a)、(b) 中, 可以看出投影面和投影轴上的点的坐标和投影具有下述特性:

(1) 投影面上的点有一个坐标为零, 在该投影面上的投影和该点重合, 在相邻投影面上的投影分别在相应的投影轴上。

(2) 投影轴上的点有两个坐标为零, 在包含这条轴的两个投影面上的投影都与该点重合, 在另一投影面上的投影则与点  $O$  重合。

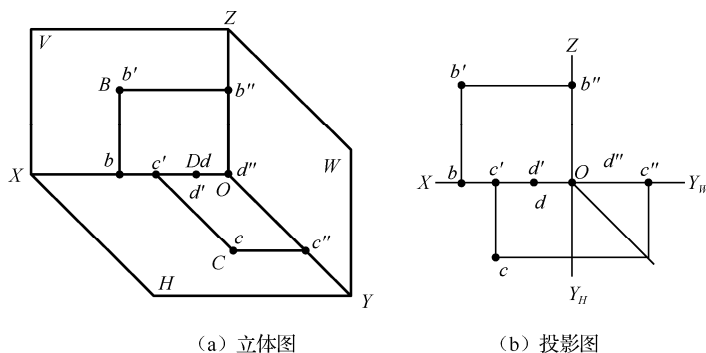


图 2-11 投影面和投影轴上的点

### 3) 点的三面投影与直角坐标的关系

如图 2-12 所示, 在三投影面体系中, 三根投影轴可以构成一个空间直角坐标系, 空间点  $A$  的位置可以用三个坐标值  $(x_A, y_A, z_A)$  表示, 则点的投影与坐标之间的关系为

$$aa_y = a'a_z = x_A$$

$$aa_x = a''a_z = y_A$$

$$a'a_x = a''a_y = z_A$$

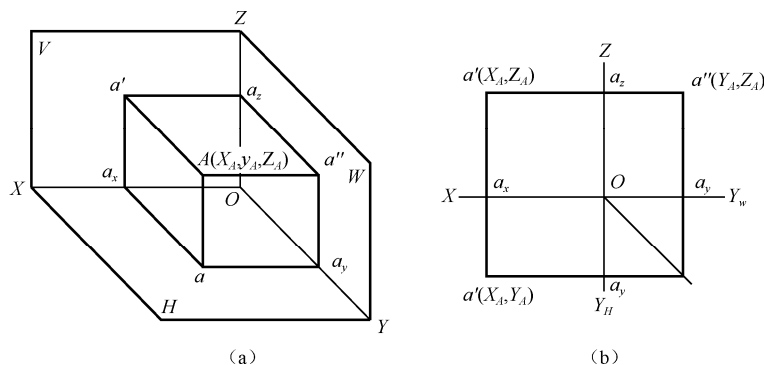


图 2-12 点的投影与坐标之间的关系

## 3. 两点的相对位置及特殊位置的点

### 1) 两点的相对位置

如图 2-13 所示, 由两个点的投影沿左右、前后、上下三个方向所反映的坐标差, 即这两个点对投影面  $W$ 、 $V$ 、 $H$  的距离差, 由此就确定了这两点的相对位置。反之, 若已知两点的相对位置及其中一点的投影, 即能作出另一点的投影。

由于投影图是  $H$  面绕  $OX$  轴向下旋转、 $W$  面绕  $OZ$  轴向右旋转而形成的, 所以必须特别注意: 对于水平投影而言, 由  $OX$  轴向下就代表向前; 对侧面投影而言, 由  $OZ$  轴向右也代表向前。

### 2) 特殊位置的点 (重影点)

如图 2-14 所示, 点  $C$  在点  $D$  正上方, 点  $C$  与点  $D$  位于垂直于  $H$  面的同一条投影线上。点  $C$  与点  $D$  无左右距离差 ( $x_C - x_D = 0$ ), 无前后距离差 ( $y_C - y_D = 0$ )。这两点的水平投影相互重合,

点  $C$  和点  $D$  称为对水平投影面的重影点。同理，若一点在另一点的正前方或正后方，则为正投影面的重影点；若一点在另一点的正右方或正左方，则为侧投影面的重影点。

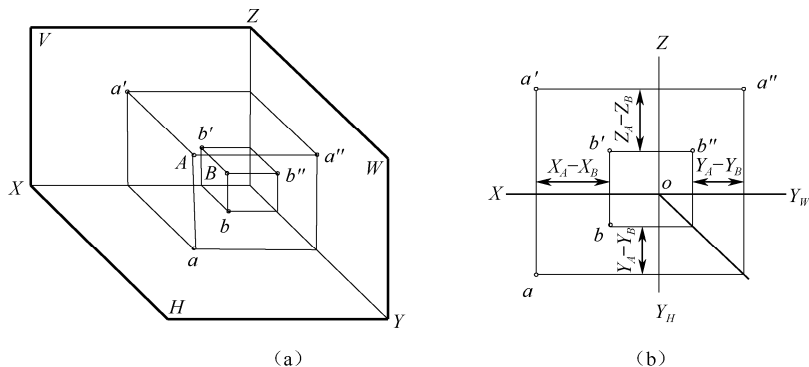


图 2-13 两点的相对位置

对正面投影、水平投影、侧面投影重影点的投影的可见性，分别应该是前遮后、上遮下、左遮右。在重影点的投影重合处，可以不表明可见性；如需表明，则在不可见投影的符号上加圆括号，如图 2-14 中的 (d)。

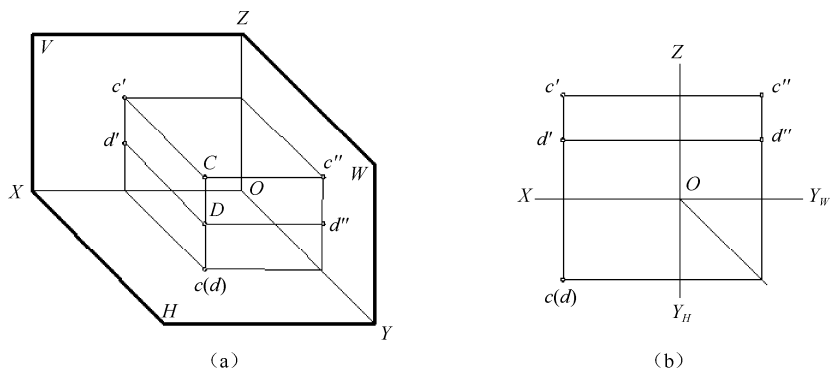


图 2-14 重影点

## 2.1.4 直线及直线的投影特性

### 1. 直线

由平面几何可知，两点确定一条直线，故直线的投影可以由直线上点的投影确定。如图 2-15 所示，分别将两点  $A$ 、 $B$  的同面投影用直线相连，则得到直线  $AB$  的投影。

### 2. 直线的投影特性

#### 1) 直线对一个投影面的投影特性

直线对一个面的投影取决于直线与投影面的相对位置，如图 2-16 所示。

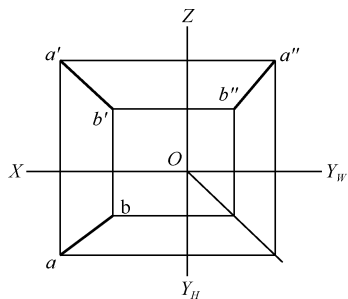


图 2-15 直线的投影

(1) 直线垂直于投影面 [如图 2-16 (a) 所示]。直线的投影积聚为一个点, 而且位于直线上的所有点的投影都重合在一点上。投影的这种特性称为积聚性。

(2) 直线平行于投影面 [如图 2-16 (b) 所示]。直线的投影长度反映空间线段的实际长度,  $ab=AB$ 。投影的这种特性称为实长性。

(3) 直线倾斜于投影面 [如图 2-16 (c) 所示]。其投影为直线, 但投影的长度比空间线段的实际长度缩短了,  $ab=AB\cos\alpha$ 。

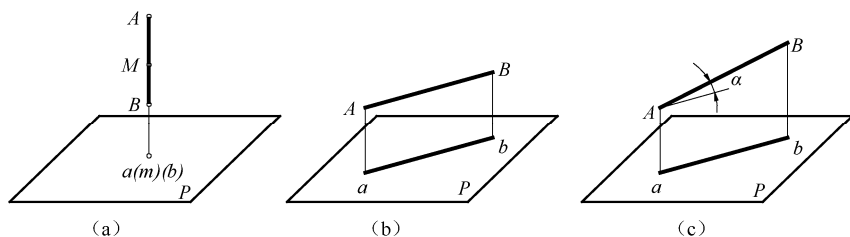


图 2-16 直线对一个投影面的投影特性

## 2) 直线在三面投影体系中的投影特性

直线对于投影面的相对位置可分为以下三类。后两类又可以再各分为三种, 统称特殊位置直线。

(1) 一般位置直线。对  $V$ 、 $H$ 、 $W$  面都倾斜。如图 2-17 所示, 三个投影都倾斜于投影轴, 其与投影轴的夹角不等于其与投影面的夹角, 且三个投影的长度均比空间线段短, 即都不反映空间线段的实长。

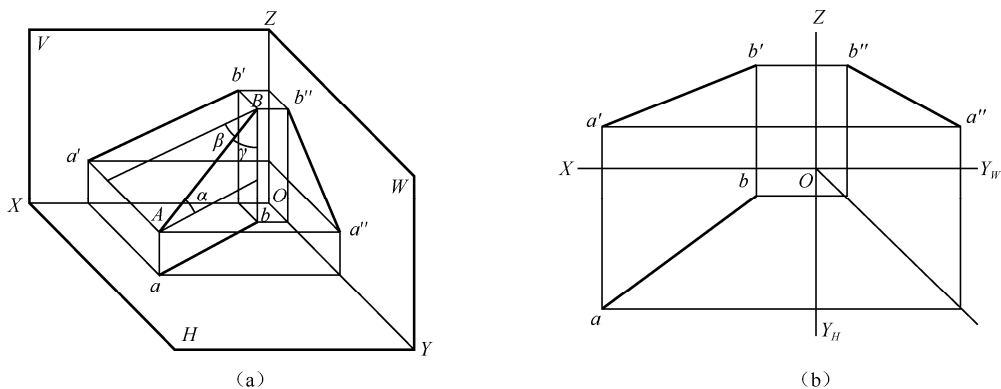


图 2-17 一般位置直线

(2) 投影面平行线 (只平行于一个投影面)。平行于某一投影面, 与其余两投影面倾斜的直线称为该投影面的平行线。其中, 平行于  $H$  面的直线称为水平线; 平行于  $V$  面的直线称为正平线; 平行于  $W$  面的直线称为侧平线。它们的投影特性如表 2-1 所示。

从表中可知, 投影面平行线的投影特性如下:

① 在其平行的投影面上的投影反映实长, 且投影与投影轴的夹角分别反映直线对另外两个投影面的倾角的实际大小;

② 另外两个投影面上的投影分别平行于相应的投影轴, 且长度比空间直线段短。

表 2-1 投影面平行线的投影特性

名称	水平线	正平线	侧平线
立体图			
投影图			
投影特性	$ab=AB$ , 反映实长; $ab$ 与 $OX$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $V$ 面的倾角 $\beta$ , $ab$ 与 $OY$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $W$ 面的倾角 $\gamma$ ; $a'b'//OX$ , $a''b''//OY$ , 长度缩短	$a'b'=AB$ , 反映实长; $a'b'$ 与 $OX$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $H$ 面的倾角 $\alpha$ , $a'b'$ 与 $OZ$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $W$ 面的倾角 $\gamma$ ; $ab//OX$ , $a''b''//OZ$ , 长度缩短	$a''b''=AB$ , 反映实长; $a''b''$ 与 $OY$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $H$ 面的倾角 $\alpha$ , $a''b''$ 与 $OZ$ 轴的夹角反映 $AB$ 对 $V$ 面的倾角 $\beta$ ; $ab//OY$ , $a'b'//OZ$ , 长度缩短

(3) 投影面垂直线。垂直于某一投影面，而与其两个投影面平行的直线称为该投影面的垂直线。其中，垂直于  $H$  面的直线称为铅垂线；垂直于  $V$  面的直线称为正垂线；垂直于  $W$  面的直线称为侧垂线。它们的投影特性如表 2-2 所示。

表 2-2 投影面垂直线的投影特性

名称	铅垂线	正垂线	侧垂线
立体图			
投影图			

续表

名称	铅垂线	正垂线	侧垂线
投影特性	水平投影积聚为一点; $a'b'=a''b''=AB$ , 反映实长, $a'b'\perp OX$ , $a''b''\perp OY$	正面投影积聚为一点; $ab=a''b''=AB$ , 反映实长, $ab\perp OX$ , $a''b''\perp OZ$	侧面投影积聚为一点; $ab=a'b'=AB$ , 反映实长, $ab\perp OY$ , $a'b'\perp OZ$

从表 2-2 中可知, 投影面垂直线的投影特性如下:

- ① 在其垂直的投影面上的投影积聚为一点;
- ② 另外两个投影面上的投影反映空间线段的实长, 且分别垂直于相应的投影轴。

### 3. 直线上的点

如图 2-18 所示, 直线与其上的点有以下关系:

(1) 若点在直线上, 则点的投影一定在直线的同面投影上, 反之亦然。

(2) 若点在直线上, 则点的投影分割直线的同面投影的比例与该点分割空间直线的相同, 反之亦然。即

$$ac:cb=a':c':c'b'=a''c'':c''b''=AC:CB$$

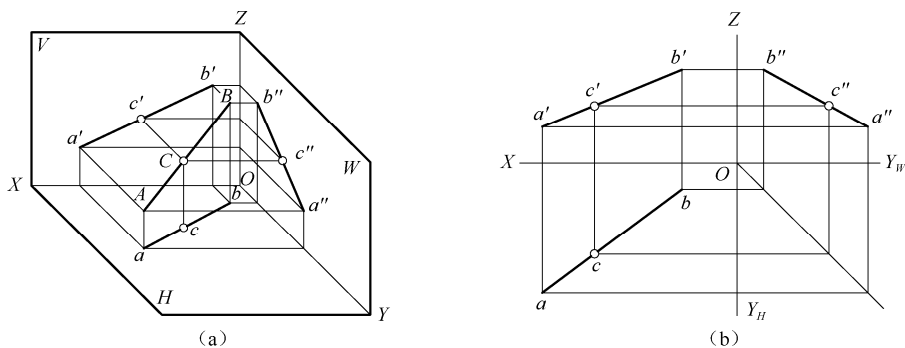


图 2-18 直线上的点

**【例 2-1】** 求直线上的点。如图 2-19 (a) 所示, 已知点  $K$  在直线  $AB$  上, 求作它们的三面投影。

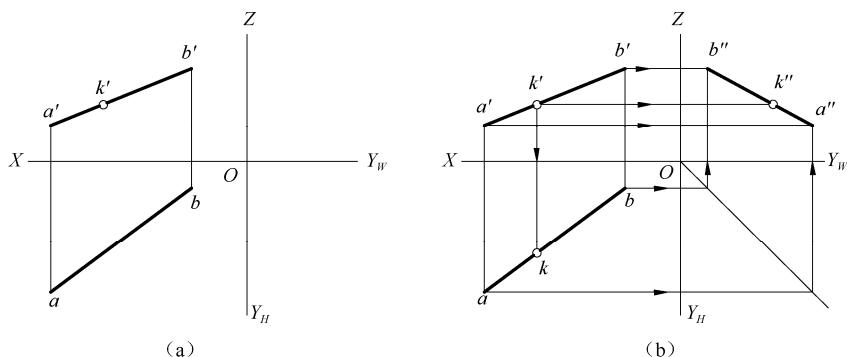


图 2-19 求直线上点的投影

**解:** 由于点  $K$  在直线  $AB$  上, 所以点  $K$  的各个投影一定在直线  $AB$  的同面投影上。如图 2-19

(b) 所示, 求出直线  $AB$  的侧面投影  $a''b''$  后, 即可在  $ab$  和  $a''b''$  上确定点  $K$  的水平投影  $k$  和侧面投影  $k''$ 。

#### 4. 两直线的相对位置

空间两直线的相对位置有三种: 平行、相交和交叉 (又称异面)。

##### 1) 两直线平行

若空间两直线相互平行, 则其同面投影必相互平行; 若两直线的三个同面投影分别相互平行, 则空间两直线必相互平行 (如图 2-20 所示)。

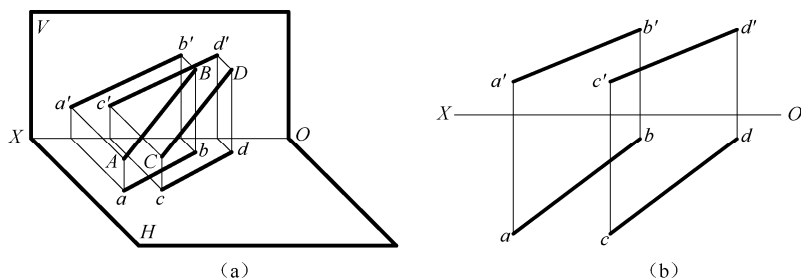


图 2-20 两直线平行

判断空间两直线是否平行, 一般情况下, 只需判断两直线的任意两对同面投影是否分别平行, 如图 2-20 (b) 所示。但是当两直线均平行于某一投影面时, 只有当所平行的投影面上的投影平行时, 才能判断其相互平行。如图 2-21 (a) 所示 ( $AB$ 、 $CD$  均为侧平线), 虽然  $ab \parallel cd$ ,  $a'b' \parallel c'd'$ , 但求出侧面投影后 [见图 2-21 (b)], 由于  $a''b''$  不平行于  $c''d''$ , 故直线  $AB$ 、 $CD$  不平行。

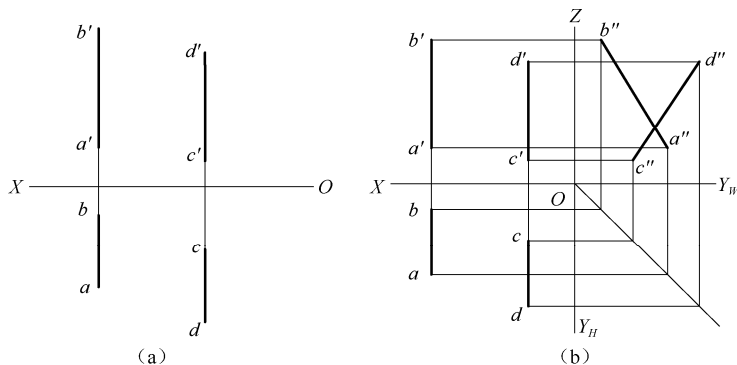


图 2-21 判断两直线是否平行

##### 2) 两直线相交

若空间两直线相交, 则其同面投影必相交, 且其交点必符合空间一个点的投影特性, 反之亦然。如图 2-22 所示, 直线  $AB$ 、 $CD$  相交于点  $K$ , 其投影  $ab$  与  $cd$ 、 $a'b'$  与  $c'd'$  分别相交于  $k$  和  $k'$  点, 且  $kk' \perp OX$  轴。

相交两直线的交点是两直线的共有点, 因此交点应满足直线上点的投影特性。

判断两直线相交的方法: 只需判断两组同面投影相交, 且交点符合点的投影特性中的任何一条即可。

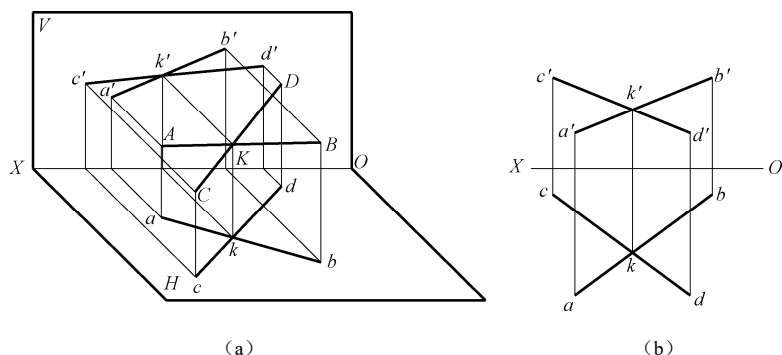


图 2-22 两直线相交

但是, 当两条直线中有一条为投影面平行线时, 只有相对另两投影面的两组同面投影相交时, 空间两直线不一定相交。

### 3) 两直线交叉

既不平行又不相交的两条直线称为交叉直线。

如图 2-23 所示, 直线  $AB$  和  $CD$  为两交叉直线, 虽然它们的同面投影也相交, 但其交点不符合点的投影特性中的任何一条。

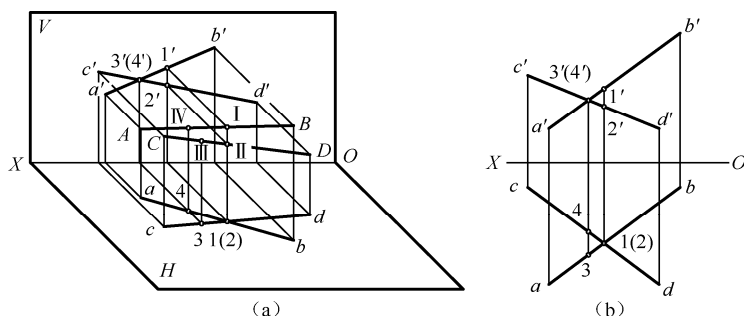


图 2-23 两交叉直线

两交叉直线同面投影的交点是直线上一对重影点的投影, 用它可以判断空间两直线的相对位置, 如图 2-23 所示, 直线  $AB$ 、 $CD$  的水平投影的交点是直线  $AB$  上的点  $I$  和直线  $CD$  上的点  $II$  (对  $H$  面的重影点) 的水平投影  $1(2)$ 。由正面投影可知, 点  $I$  在上, 点  $II$  在下, 故在该处直线  $AB$  在直线  $CD$  的上方。同理, 直线  $AB$  和直线  $CD$  的正面投影是直线  $AB$  上的点  $IV$  和直线  $CD$  上的点  $III$  (对  $V$  面的重影点) 的正面投影  $3'(4')$ , 由水平投影可知, 点  $III$  在前, 点  $IV$  在后, 故在该处直线  $AB$  在直线  $CD$  的前方。

## 2.1.5 平面的投影

### 1. 平面的表示方法

在投影图上, 平面通常用确定该平面的点、直线或平面图形等几何元素表示, 如图 2-24 所示。



- ① 不在同一直线上的三点, 如图 2-24 (a) 所示;
- ② 一直线及直线外一点, 如图 2-24 (b) 所示;
- ③ 两平行直线, 如图 2-24 (c) 所示;
- ④ 两相交直线, 如图 2-24 (d) 所示;
- ⑤ 平面几何图形: 如矩形、三角形、圆等, 如图 2-24 (e) 所示。

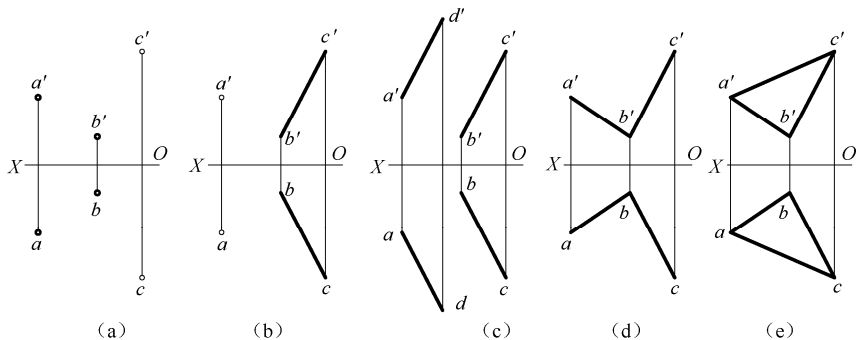


图 2-24 平面的五种表示法

## 2. 平面的投影特性

### 1) 平面对一个投影面的投影特性

平面对一个投影面的投影特性取决于平面与投影面的相对位置, 可分为以下三种:

(1) 平面倾斜于投影面。如图 2-25 (a) 所示,  $\triangle ABC$  倾斜于投影面  $P$ , 它在面  $P$  上的投影与  $\triangle ABC$  是类似的, 这种投影特性称为类似性。

(2) 平面平行于投影面。如图 2-25 (b) 所示,  $\triangle ABC$  平行于投影面  $P$ , 它在面  $P$  上的投影反映  $\triangle ABC$  的实形, 这种投影特性称为实形性。

(3) 平面垂直于投影面。如图 2-25 (c) 所示,  $\triangle ABC$  垂直于投影面  $P$ , 它在面  $P$  上的投影积聚成一条直线, 平面内的所有几何元素在面  $P$  上的投影都重合于这条直线上, 这种投影特性称为积聚性。

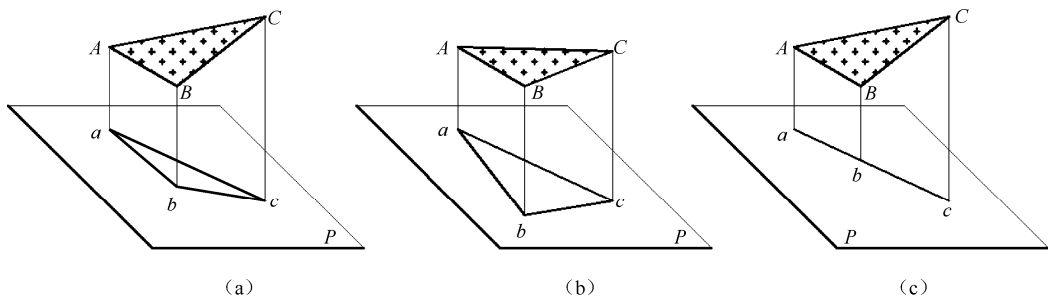


图 2-25 平面对一个投影面的投影特性

### 2) 平面在三面投影体系中的投影特性

平面在三面投影体系中的投影特性取决于平面对三个投影面的相对位置。根据平面与三个投影面的相对位置不同可将平面分为三类: 投影面垂直面、投影面平行面和一般位置平面。

投影面垂直面和投影面平行面又称特殊位置平面。

(1) 投影面垂直面。垂直于某一投影面而与其余两投影面都倾斜的平面称为投影面垂直面。

其中,垂直于  $H$  面时称为铅垂面;垂直于  $V$  面时称为正垂面;垂直于  $W$  面时称为侧垂面。它们的投影特性见表 2-3。

表 2-3 投影面垂直面的投影特性

名称	铅垂面	正垂面	侧垂面
立体图			
投影图			
投影特性	水平投影积聚为直线; 它与 $OX$ 、 $OY$ 轴的夹角反映平面对 $V$ 面、 $W$ 面的夹角 $\beta$ 、 $\gamma$ ; 正面投影和侧面投影为类似形	正面投影积聚为直线; 它与 $OX$ 、 $OZ$ 轴的夹角反映平面对 $H$ 面、 $W$ 面的夹角 $\alpha$ 、 $\gamma$ ; 水平投影和侧面投影为类似形	侧面投影积聚为直线; 它与 $OY$ 、 $OZ$ 轴的夹角反映平面对 $H$ 面、 $V$ 面的夹角 $\alpha$ 、 $\beta$ ; 水平投影和正面投影为类似形

由表 2-3 可知,投影面垂直面的投影特性如下:

① 在其垂直的投影面上的投影积聚成与该投影面内的两根投影轴都倾斜的直线,该直线与投影轴的夹角反映空间平面与另两个投影面的夹角的实际大小;

② 在另两个投影面上的投影形状类似。

(2) 投影面平行面。平行于某一投影面而与其余两投影面都垂直的平面称为投影面平行面。其中,平行于  $H$  面时称为水平面;平行于  $V$  面时称为正平面;平行于  $W$  面时称为侧平面。它们的投影特性见表 2-4。

表 2-4 投影面平行面的投影特性

名称	正平面	水平面	侧平面
立体图			

续表

名称	正平面	水平面	侧平面
投影图			
投影特性	正面投影反映实形； 水平投影和侧面投影积聚成直线，并分别平行于 $OX$ 、 $OZ$ 轴	水平投影反映实形； 正面投影和侧面投影积聚成直线，并分别平行于 $OX$ 、 $OY$ 轴	侧面投影反映实形； 正面投影和水平投影积聚成直线，并分别平行于 $OZ$ 、 $OY$ 轴

由表 2-4 可知，投影面平行面的投影特性如下：

- ① 在其平行的投影面上的投影反映空间平面实形；
- ② 另外两个投影面上的投影积聚成直线，且平行于相应的投影轴。

(3) 一般位置平面。三个投影面都倾斜的平面称为一般位置平面。一般位置平面的投影特性为三个投影面的投影均为缩小的类似形。如图 2-26 所示， $\triangle ABC$  与三个投影面都倾斜，它的三个投影的形状相类似，但都不反映 $\triangle ABC$  的实形。

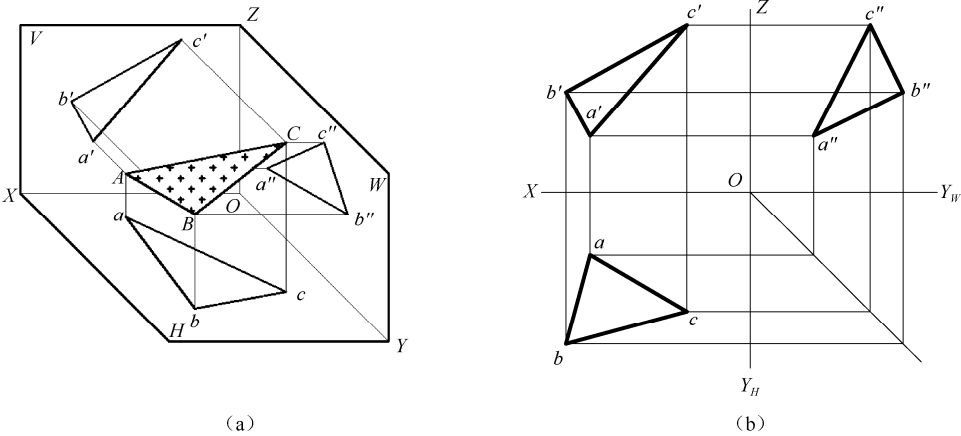


图 2-26 一般位置平面

### 3) 属于平面上的点和直线

(1) 平面内取直线。具备下列条件之一的直线必位于给定的平面内：

- ① 直线通过一平面内的两个点；
- ② 直线通过平面内的一个点且平行于平面内的某条直线。

(2) 平面内取点。点位于平面内的几何条件是点位于平面内的某条直线上，因此点的投影也必须位于平面内该条直线的同面投影上。所以，在平面内取点应首先在平面内取直线，然后再在该直线上取符合要求的点。

## 2.2 图样表示法

在生产中，当机件的形状和结构比较复杂时，如果仍用两视图或三视图，就难于把它们的外形形状准确、完整、清晰地表达出来。为了满足这些要求，国家标准中规定了各种画法：视图、剖视图、剖面图、断面图、局部放大图、简化画法、其他规定画法等。这里主要介绍一些常用的表达方法。

### 2.2.1 机件外部形状的表达——视图

#### 1. 基本视图和向视图

##### 1) 基本视图及其配置

对于形状比较复杂的机件，用两个或三个视图尚不能完整、清楚地表达它们的内外形状时，则可根据国家标准在原有三个投影面的基础上，再增设三个投影面，组成一个正六面体，这六个投影面称为基本投影面。将物体放置在六个投影面的正中间 [如图 2-27 (a) 所示]，机件向基本投影面投影所得的视图，称为基本视图。除了前面已介绍的三个视图以外，还有：由右向左投影所得的右视图；由下向上投影所得的仰视图；由后向前投影所得的后视图。当投影面如图 2-27 (b) 所示展开时，基本视图的配置关系如图 2-27 (c) 所示。

##### 2) 向视图及其配置

在同一张图纸内按图示配置视图时，一律不标注视图名称。如不能按照图 2-28 (a) 所示配置视图，应在视图上方标出视图的名称“×”，在相应的视图附近用箭头指明投影方向，并注上同样的大写拉丁字母“×”，如图 2-28 所示。称这种视图为向视图。

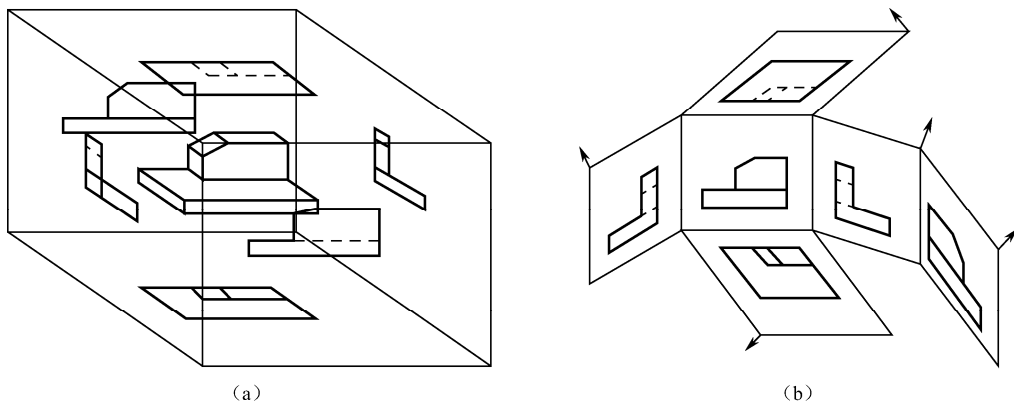
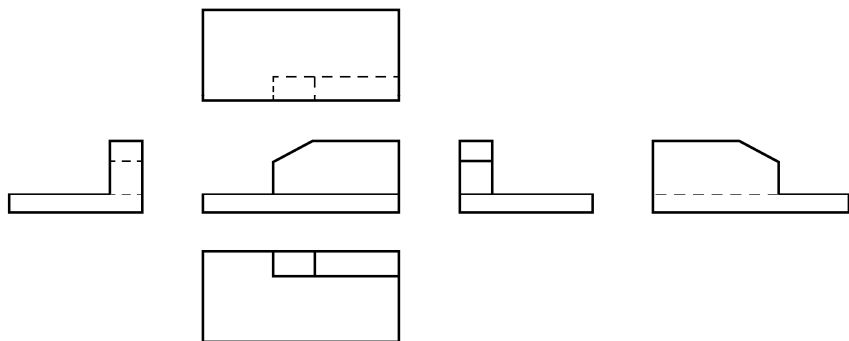
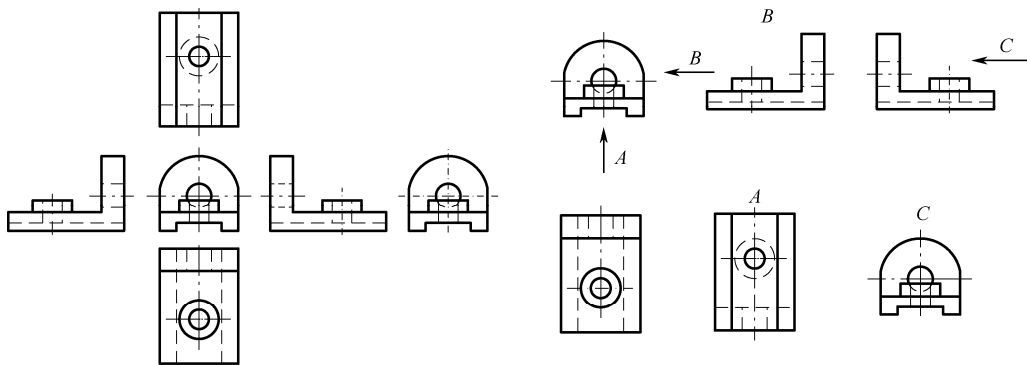


图 2-27 六个基本视图



(c)

图 2-27 六个基本视图 (续)



(a) 六个基本视图

(b) 向视图

图 2-28 基本视图和向视图

国家标准规定：绘制机件的图样时，应首先考虑看图方便；根据机件的结构特点，选用适当的表达方法；在完整、清晰地表达机件各部分形状的前提下，力求制图简便。

## 2. 局部视图和斜视图

### 1) 局部视图

将机件的某一部分向基本投影面投影所得的视图称为局部视图。

当机件的主体结构已由基本视图表达清楚，还有部分结构未表达清楚时，可用局部视图来表达。如图 2-29 所示的机件，用主视图和俯视图表达后，在表达左边结构和右边凸起时，若再画出左视图和右视图，则显得烦琐，增加工作量。这时可以用局部视图 *A* 和 *B* 表达。

画局部视图时应该注意：

(1) 局部视图中用波浪线或双折线表示其范围，如图 2-29 中的 *A* 图。但当所表示的局部结构是完整的，其外形轮廓线又封闭时，可以省略波浪线，如图 2-29 中的 *B* 图。

(2) 局部视图可按基本视图或向视图配置。当局部视图按基本视图配置，中间又无图形隔开时，可不标注；当局部视图按向视图配置时，按向视图的标注方法标注。

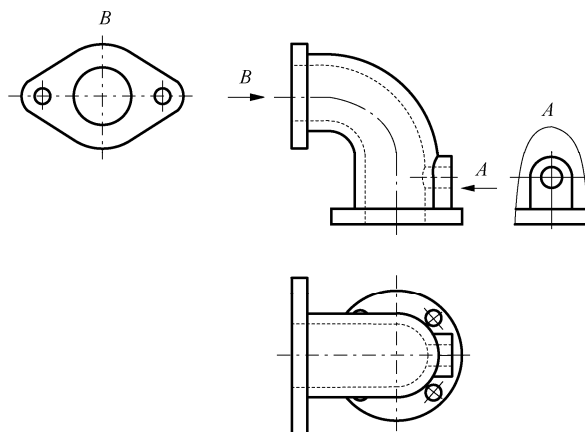


图 2-29 局部视图

## 2) 斜视图

机件的某一部分是倾斜的, 向哪个基本投影面投影都不反映实形。可设立一个与倾斜部分平行且垂直于某一基本投影面的新投影面, 将倾斜部分向该新增投影面进行正投影, 得到的就是斜视图。再将新投影面连同投影展开至与视图在同一平面上。

画斜视图时应注意以下几个问题:

(1) 斜视图应进行标注。一般用带字母的箭头指明投影方向, 并在斜视图上方标注相应的字母 [见图 2-30 (b)]。

(2) 斜视图只用来表示倾斜部分的局部结构, 故其断裂边界画波浪线或双折线。

(3) 斜视图一般配置在箭头所指的方向, 并保持投影关系。必要时也可配置在其他位置 [见图 2-30 (c)], 还可将斜视图旋转配置 [见图 2-30 (d)], 这时应在斜视图名称后加注旋转符号, 旋转符号的画法如图 2-31 所示。其中,

- $h$ =符号与字体高度,  $h=R$ ;
- 符号笔画宽度 =  $(1/10)h$  或  $(1/14)h$ 。

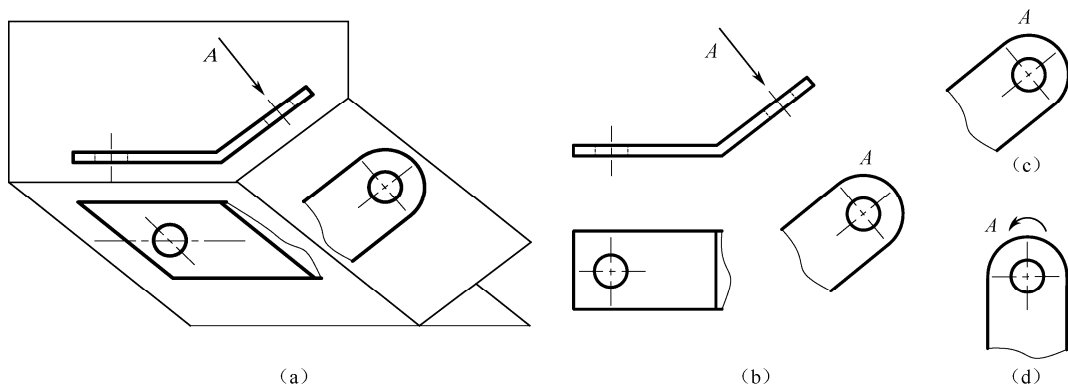


图 2-30 斜视图

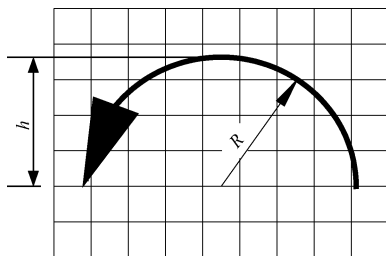


图 2-31 旋转符号的尺寸和比例

## 2.2.2 机件内部形状的表达——剖视图

当机件的内部结构比较复杂时,若用视图表示,则图中虚线比较多,影响图形清晰,也不便于标注尺寸。因此,常采用剖视的方法表达机件的内部结构。

### 1. 剖视图的画法

#### 1) 剖视图的形成

假想用剖切面剖开机件,将处在观察者和剖切面之间的部分移去,而将其余部分向投影面投影,所得图形称为剖视图。

如图 2-32 (a) 所示的机件,假想用剖切面将其沿前后对称面剖开,将观察者和剖切面之间的部分移去,并沿箭头所指的方向向投影面投影,即得到一个剖视的主视图,如图 2-32 (b) 所示。

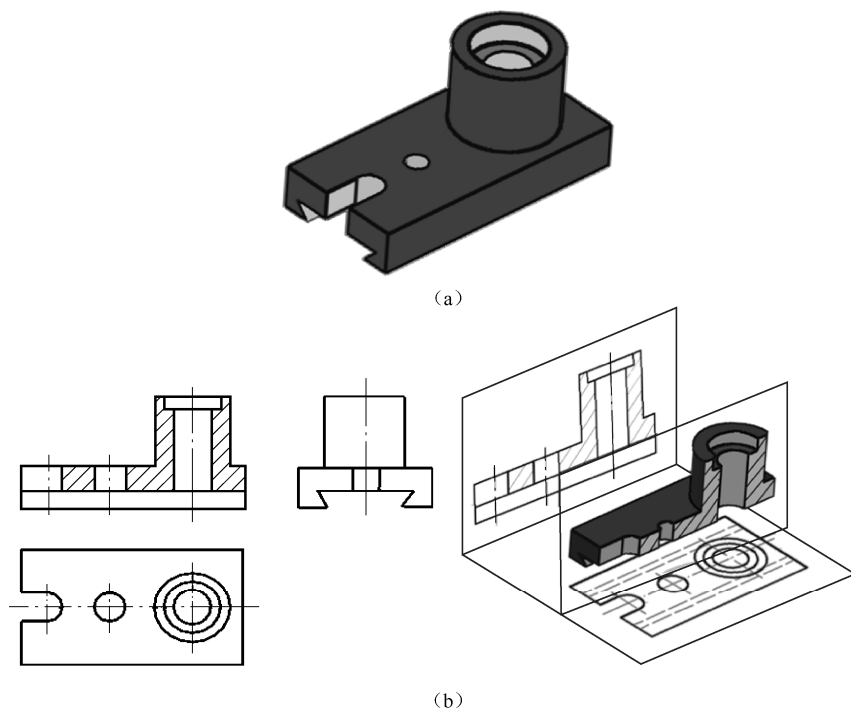


图 2-32 剖视图的形成

## 2) 画剖视图的步骤

### (1) 确定剖切平面的位置。

(2) 画剖视图。移去观察者和剖切平面之间的部分,如图 2-32 (a) 所示,将剖切平面后方的部分按照投影关系全部画出。由于剖视图是假想剖开机件后画出的,因此,当机件的一个视图画成剖视图后,其他视图不受影响,仍应完整画出。

(3) 画剖面符号。剖切平面与机件接触部分(实心部分)称为剖面区域。剖切面上,机件与剖切面没有接触的部分为空心区域。为了区分机件的实心 and 空心部分,国家标准规定在剖面区域上应画上规定的剖面符号,不同材料的剖面符号不同。其中金属材料的剖面符号为与机件主要轮廓线成  $45^\circ$  角(左、右倾斜均可)互相平行且间距相等的细实线,也称剖面线,如图 2-32 (b) 所示。同一机件各个视图中的剖面线方向相同、间隔相等。

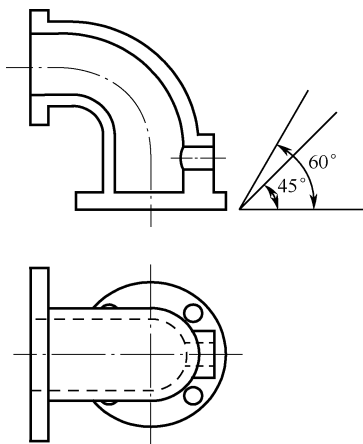


图 2-33 特殊情况下剖面线的画法

当剖视图中的主要轮廓线与水平方向成  $45^\circ$  或接近  $45^\circ$  角时,剖面线应与水平方向成  $30^\circ$  或  $60^\circ$  角,如图 2-33 所示。

## 3) 剖视图的画法

(1) 确定剖切平面的位置。一般用平行或垂直于某一投影面的平面沿机件内部孔、槽的对称面剖开机件[如图 2-32 (a) 所示],将观察者与剖切面之间的部分移去,用粗实线画出剖切面与机件相接触的剖面图形,并在实心部分画上剖面线,如图 2-32 (b) 所示。同时作出其他必要的图形。

(2) 画出剖切平面后的可见和必要的不可见轮廓线。

(3) 按照规定的方法进行标注。

## 4) 剖视图的标注

为了便于找出剖切平面位置和判断投影关系,剖视图应进行以下标注:

(1) 剖视图的上方注出“ $\times-\times$ ”(×为大写拉丁字母),表示剖视图的名称,如图 2-34 (b) 所示;

(2) 剖切符号用粗实线,线宽为  $(1\sim 1.5)d$  ( $d$  为粗实线的宽度),长约为  $5\text{mm}$ ,表示剖切面起、迄和转折位置,尽量不要与图形的轮廓线相交。

起、迄处的粗短线外端用细实线箭头表示投射方向,再注上相应的字母(×);若同一张图纸上有几个剖视图,应用不同的字母表示。

剖视图按投影关系配置,中间无图形隔开时,也可省略箭头。在这种情况下,若为单一剖切平面,且剖切平面是对称面时,可省略标注。如图 2-34 (b) 所示的剖视图也可不标注。

## 5) 画剖视图应该注意的问题

(1) 剖视图是假想将机件剖开后画出的。因此,除剖视图外,其他视图仍须按完整的机件画出。

(2) 剖切平面一般应通过机件的对称面或轴线,并平行或垂直于某一投影面。



(3) 剖视图中已经表达清楚的内部结构, 若在其他视图上的投影为细虚线时不必画出; 没有表达清楚的结构, 可在剖视图或其他视图中仍用细虚线画出, 如图 2-34 (b) 所示。

(4) 应仔细分析不同结构剖切后的投影特点, 避免漏画或多画轮廓线。

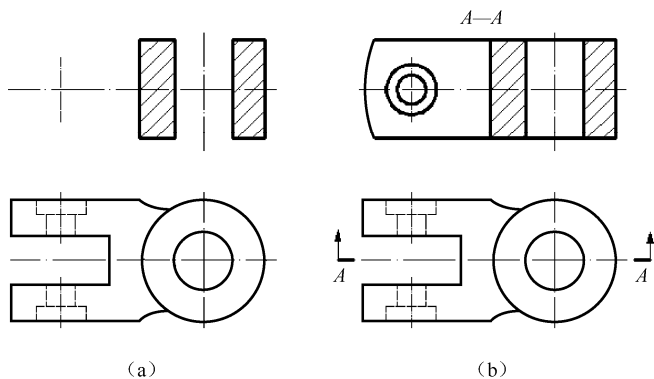


图 2-34 剖视图的画法

## 2. 剖视图的种类

按照剖切范围的大小, 可将剖视图分为全剖视图、半剖视图和局部剖视图。

### 1) 全剖视图

用剖切面完全地剖开机件所得的剖视图称为全剖视图。图 2-34 (b) 所示为全剖视图。全剖视图常用于表达外形简单、内形复杂且沿剖切方向不对称的机件, 如图 2-35 所示。

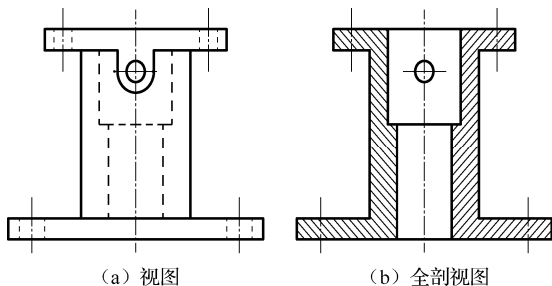


图 2-35 视图与全剖视图

### 2) 半剖视图

当机件具有对称面时, 向垂直于对称平面的投影面上投影所得到的图形, 可以以对称中心线为界, 一半画成剖视图, 另一半画成视图, 这种由半个视图和半个剖视图组成的图形称为半剖视图, 如图 2-36 所示。

半剖视图常用于表达内、外形状均复杂的对称机件, 也用于表达接近对称且不对称的结构已在其他图形中表达清楚的机件。

画半剖视图时应注意以下几点:

(1) 半个剖视图和半个视图的分界线应是细点画线, 不能是其他任何图线。若机件虽然对称, 但是对称面的外形或内形上有轮廓线时不宜做半剖。

(2) 在半个剖视图中已表达清楚的内形在另一半视图中表达这部分结构的细虚线可省略, 但应画出孔或槽的中心线, 如图 2-36 所示主视图的左边的视图部分。

### 3) 局部剖视图

用剖切面局部地剖开机件所得的剖视图称为局部剖视图。

局部剖视图常用于内、外形状均需要表达, 但又不宜做全剖或半剖的机件(如图 2-37 所示), 也可用于表达实心机件上的孔、槽等局部的内部结构。作局部剖视图时, 部分剖视图与部分视图之间用波浪线表示机件的断裂边界。

把半个视图和半个剖视图合画在一起

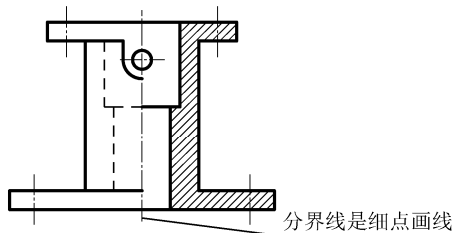


图 2-36 半剖视图

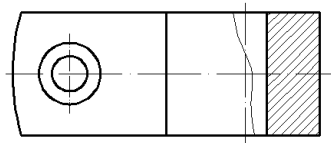
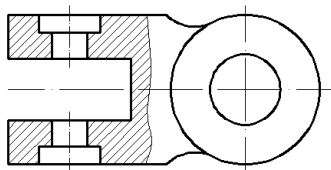


图 2-37 局部剖视图一

画波浪线时应注意以下几点:

(1) 波浪线不能与视图中的轮廓线重合, 也不能画在其延长线上, 如图 2-38 所示。

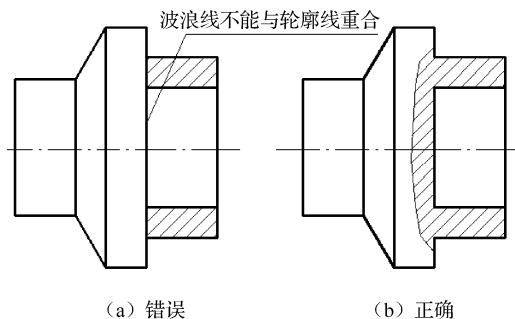


图 2-38 局部剖视图二

(2) 波浪线只能画在机件的实体部分, 如遇孔、槽等中空结构应自动断开, 也不能超出视图中被剖切部分的轮廓线。

局部剖视图是一种比较灵活的表达方法, 如果运用得当, 可使图形重点突出、简明清晰。但是在同一视图中局部剖视图的数量不宜过多, 否则会使图形表达显得凌乱。

局部剖视图一般可以省略标注, 但当剖切位置不明显或局部剖视图未按照投影关系配置时, 则按照剖视图的标注方法进行标注。

### 3. 剖切面的种类

因为机件的内部结构形状不同, 所采用的剖切方法也不一样。按照国家标准的规定, 常选

择以下三种剖切面剖开机件。

### 1) 单一剖切平面剖切

(1) 用平行于某一基本投影面的平面剖切。前面所讲述的全剖视图、半剖视图和局部剖视图,均为单一剖切平面剖切。

平行于某一基本投影面的剖切平面剖开机件后所得出的这些都是最常用的剖视图。

(2) 用不平行于任何基本投影面的剖切平面剖切。用不平行于任何基本投影面的剖切平面剖开机件的方法称为斜剖。

这种剖切主要用于表达机件上倾斜部分的内部结构,画图时除应画出剖面线外,其画法、图形的配置及标注与斜视图相同。

剖视图可按照投影关系配置在与剖切符号相对应的位置;也可以将剖视图移至图纸的适当位置,并在不致引起误解时,允许将图形旋转,但旋转后的视图应标注上旋转符号,并且注上“×—×旋转”。

### 2) 用几个平行的剖切平面剖切

如图 2-39 所示,用了两个互相平行的剖切面剖切。

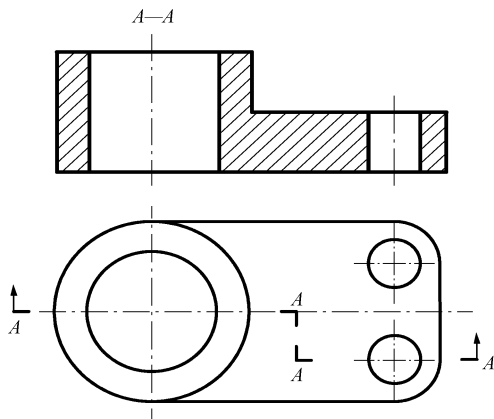


图 2-39 几个平行的剖切面剖切的画法和标注

这种主要适用于机件上有较多的内部结构,并分布在几个互相平行的剖切平面剖开机件的剖切方法称为阶梯剖。

使用阶梯剖剖切时,其标注应注意以下几点:

(1) 剖切平面在起、讫、转折处画粗短线并标注字母,在起、讫外侧画上箭头,表示投影方向。

(2) 在相应的剖视图上方以相同的字母“×—×”标注剖视图的名称。

当剖视图按照投影关系配置,中间又无图形隔开时,也可省略箭头。

采用几个平行的剖切平面剖切画图时应注意以下几点:

① 两个剖切平面的转折处不应画出交线。

② 剖切平面的转折处不应与图形中的轮廓线重合。

③ 要恰当地选择剖切位置,避免在剖视图上出现不完整的要素。

④ 当两个要素在图形上具有公共的对称中心线或轴线时,可以以对称中心线为界,各画一半。

### 3) 用几个相交的剖切平面剖切

(1) 用两个相交的剖切平面剖切。用相交的剖切平面（交线垂直于某一基本投影面）剖开机件的方法主要用于表达具有公共回转轴线的机件，如轮、盘、盖等机件上的孔、槽等内部结构。

采用这种剖切方法时，先假想按照剖切位置剖开机件，然后将剖切平面剖开的结构旋转到与选定的投影面平行后再进行投影。剖切平面后的其他结构一般仍按照原来的位置投影，当剖切后会产生不完整要素时，则将此部分按不剖绘制。

采用相交的剖切平面剖切时，标注方法为：

- ① 在剖切的起、迄和转折处画粗短线并标注字母“×”，在起、迄外侧画上箭头。
- ② 在剖视图上方注明剖视图的名称“×—×”。

(2) 用组合的剖切平面剖切。当机件的内部结构形状较复杂，用前面的几种剖切面剖切不能表达完整时，可采用一组相交的剖切平面剖切。

采用这种剖切面剖切时，还可结合展开画法，此时应标注“×—×展开”。

## 2.2.3 机件断面形状的表达——断面图

### 1. 断面图的概念

假想用剖切面将机件的某处切断（沿图 2-40 中虚线处切断），仅画出剖切面与机件接触部分的图形，称为断面图，简称断面，如图 2-40 所示。

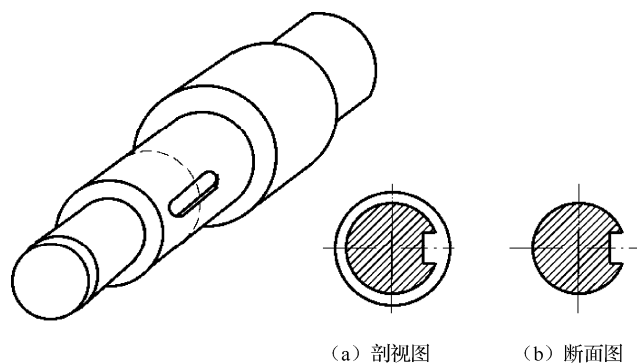


图 2-40 断面图的概念

断面图与剖视图的区别：

断面图一般只画出切断面处的形状，而剖视图不仅画出切断面的形状，而且画出切断面后面的所有的可见部分，如图 2-40 所示。

### 2. 断面图的分类

断面图可分为移出断面图和重合断面图两种。

#### 1) 移出断面图

画在视图轮廓线之外的断面图，称为移出断面图，如图 2-41 所示。

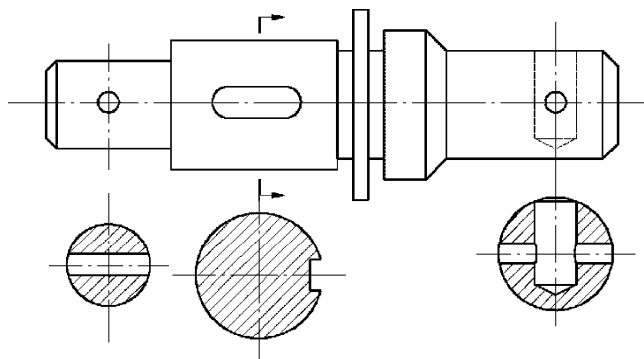


图 2-41 移出断面图

## 2) 重合断面图

画在视图轮廓线之内的断面图，称为重合断面图，如图 2-42 所示。

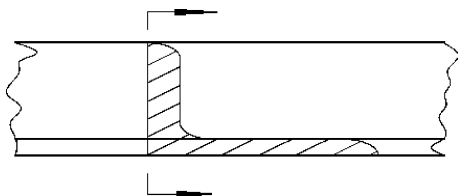


图 2-42 重合断面图

## 3. 断面图的画法

### 1) 移出断面图的画法

(1) 移出断面图的轮廓线用粗实线绘制。

(2) 移出断面应尽量配置在剖切符号或剖切迹线的延长线上。剖切迹线是剖切平面与投影面的交线，用细点画线表示，如图 2-41 所示。为了合理利用图纸幅面，也可将移出断面图配置在其他适当的位置上，如图 2-43 所示的“*A—A*”、“*B—B*”。当断面图对称时，可以将移出断面图画在视图中的中断处。

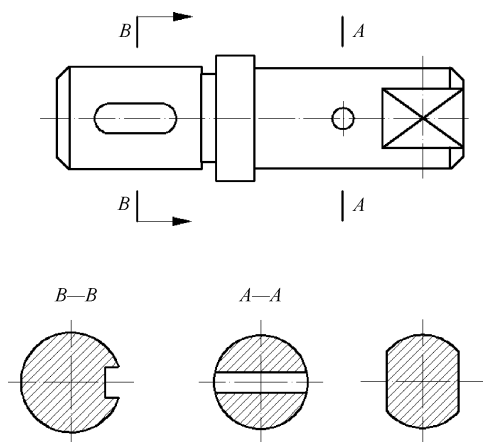


图 2-43 移出断面图的画法

(3) 由两个或多个相交的平面剖切得出的移出断面图, 中间应断开。

(4) 当剖切平面通过回转面表面的孔或凹坑的轴线时, 这些结构按照剖视绘制, 如图 2-44 中的“A—A”所示。当剖切平面通过非圆孔时, 会导致出现完全分离的两个断面, 如图 2-45 所示。这些结构应按照剖视绘制, 如图 2-46 所示。

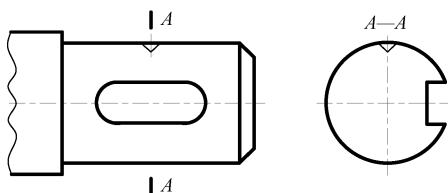


图 2-44 剖切平面通过凹坑的画法

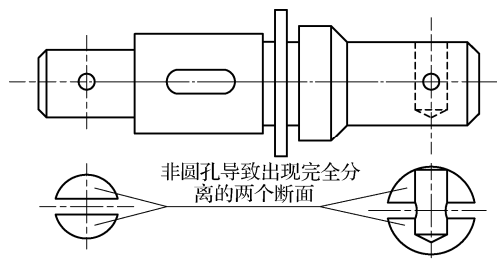


图 2-45 断面图形分离时的错误画法

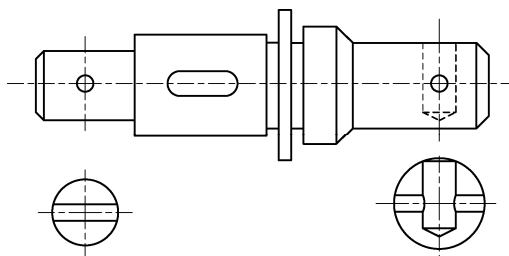


图 2-46 断面图形分离时的正确画法

(5) 在不致引起误解时, 允许将移出断面图旋转, 但应注出旋转符号。

## 2) 重合断面图的画法

(1) 重合断面图的轮廓线用细实线绘制, 如图 2-42 所示。

(2) 当视图中的轮廓线与重合断面图图线重叠时, 视图中的轮廓线仍应连续画出, 不可间断, 如图 2-42 所示。

## 4. 断面图的标注

### 1) 移出断面图的标注

(1) 用剖切符号表示剖切位置, 用箭头指明投影方向, 并标注字母“×”, 如图 2-43 所示。

(2) 用相应的字母在移出断面图的上方标注出断面图的名称“×—×”。

移出断面图省略标注的情况:

① 移出断面图配置在剖切符号延长线上时, 若不对称, 可省略字母, 如图 2-41 所示; 若对称, 可不标注, 如图 2-41 所示。

② 移出断面图不配置在剖切符号延长线上时, 若按照投影关系配置, 可省略箭头。

### 2) 重合断面图的标注

当重合断面图对称时, 可省略标注; 当重合断面图形不对称时, 要标注剖切符号和箭头, 如图 2-42 所示。

## 2.2.4 机件局部细小结构的表达和简化画法

为了使画图简便、看图清晰,除了前面所介绍的表达方法外,还可采用局部放大图、规定画法和简化画法表示机件。

### 1. 局部放大图

如图 2-47 所示,机件的部分结构用大于原图形所采用的比例画出的图形,称为局部放大图。局部放大图可画成视图、剖视、剖面,它与被放大部分的表达方式无关。

局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。

当同一机件上有几个被放大的部分时,必须用罗马数字依次标明被放大的部位,并在局部放大图的上方标注出相应的罗马数字和所采用的比例,标注形式如图 2-47 所示。

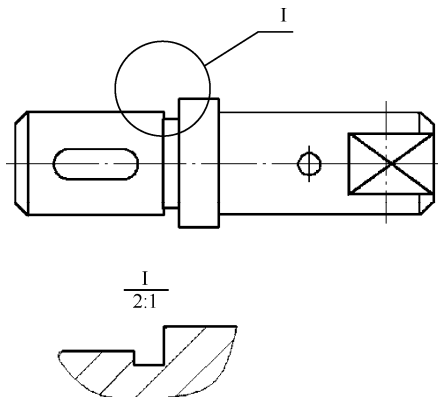


图 2-47 局部放大图

### 2. 简化画法和其他规定画法

下面简单介绍国家标准所规定的一部分简化画法和其他规定画法:

(1) 在不致引起误解时,零件图中的移出剖面允许省略剖面符号。但剖切位置和剖面图的标注必须遵照原来的规定。

(2) 当机件具有若干相同结构(齿、槽等),并按照一定规律分布时,只需要画出几个完整的结构,其余用细实线连接,在零件图中则必须注明该结构的总数。

(3) 若干直径相同且成规律分布的孔(圆孔、螺孔、沉孔等),可以仅画出一个或几个,其余只需用点画线表示其中心位置,但零件图中应注明孔的总数。

(4) 当回转体被平面所截,而图形不能充分表达平面时,可用平面符号(相交的两细实线)表示。

(5) 机件上的较小结构(如截交线、相贯线)在一个图形中已表达清楚时,其他图形则可简化画出。

## 复习与思考

1. 什么是投影法？共有几种投影法？有几种平行投影法？
2. 重影点有什么特点？
3. 投影面平行线的投影特性有哪些？投影面垂直线的投影特性有哪些？
4. 投影面平行面的投影特性有哪些？投影面垂直面的投影特性有哪些？
5. 试述基本视图与向视图之间的区别与联系。



## 第3章

# 组合体与轴测图

### 3.1 组合体

任何复杂的机械零件，从形体构成来看，都是由一些基本几何体通过切割和叠加组合而成的，这些由基本几何体通过切割和叠加组合而成的物体，称为组合体。

#### 3.1.1 组合体的组合形式

组合体有三种组合形式：切割类组合体、叠加类组合体、切割与叠加综合类组合体，如图 3-1 所示。



图 3-1 组合体的三种组合形式

### 3.1.2 组合体的表面连接关系

组合体中各表面的连接关系可归纳为四种情况：**共面、错位、相切、相交**。

(1) 共面：是指同方向的两表面平齐，即两立体表面处于同一平面内，如图 3-2 所示。

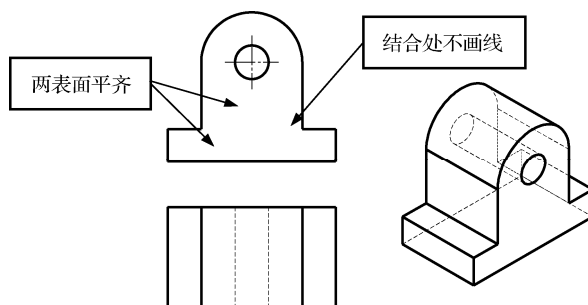


图 3-2 共面示例图

(2) 错位：是指同方向的两表面不平齐，即两表面不在同一平面内，如图 3-3 所示。

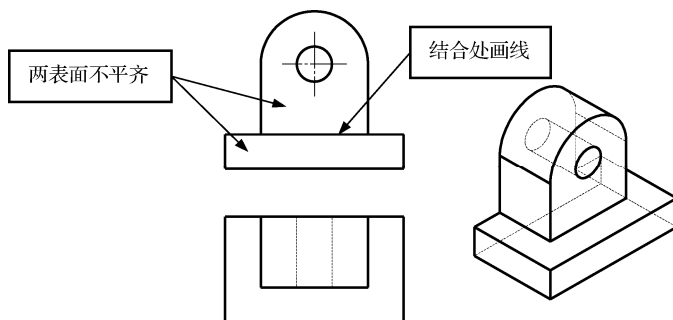


图 3-3 错位示例图

(3) 相切：是指相邻两表面（平面与曲面或曲面与曲面）光滑过渡，如图 3-4 所示。

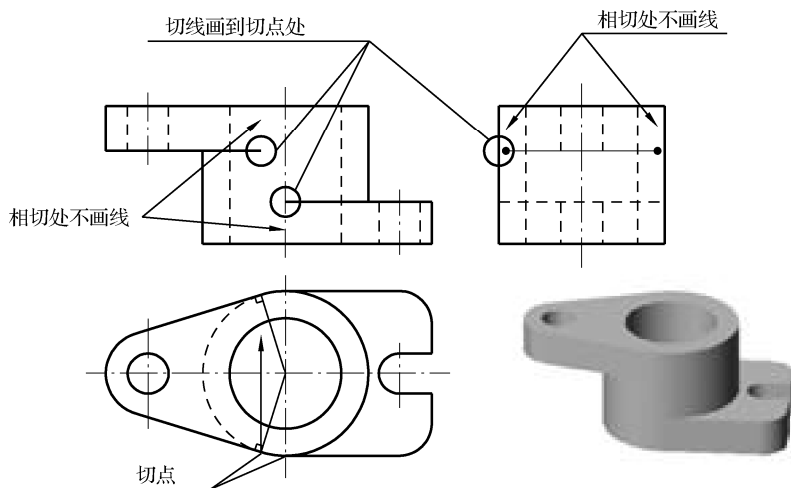


图 3-4 相切示例图

(4) 相交：是指相邻两表面之间在相交处产生交线（相贯线），如图 3-5 所示。

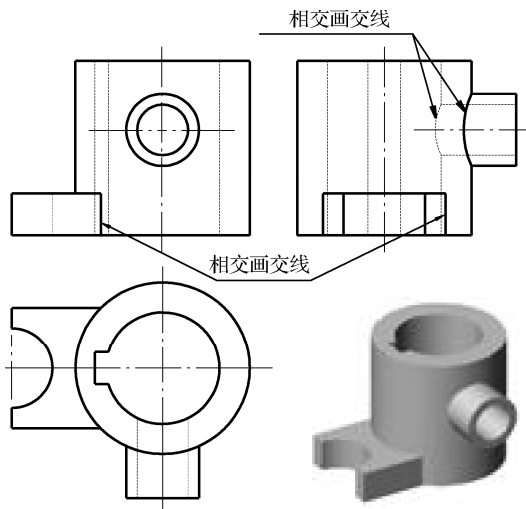


图 3-5 相交示例图

### 3.1.3 组合体三视图画法

#### 1. 形体分析法

形体分析法就是假想将空间物体分解为几个简单的形体，再对各组成部分的形状和相对位置进行分析，并加以综合，从而形成整体认识的一种分析方法。

形体分析法是画图与看图的基本方法，概括地讲，是一种“先分后合”的分析方法。掌握形体分析法，能够建立一种形象思维，提高画图与看图的能力。

#### 2. 绘制三视图的步骤

##### 1) 绘图准备阶段

①对组合体进行形体分析；②选择视图；③确定比例，选定图纸幅面；④画图框，布置视图。

##### 2) 作图阶段

①打底稿；②检查；③描深；④尺寸标注与填写标题栏。

#### 3. 绘制轴承座的三视图

##### 1) 分析

如图 3-6 所示，轴承座 1 可分解为底板、支承板、筋板、圆筒和凸台五个部分，每部分可看成是由基本形体经切割而形成。支承板叠加在底板上，且后端面平齐；筋板叠加在底板上，且紧靠支承板；圆筒叠加在支承板和筋板上，且前后错开；凸台放在圆筒的上部中间位置，并

开一小孔与圆筒的内壁相通，故内外表面均产生相贯线。

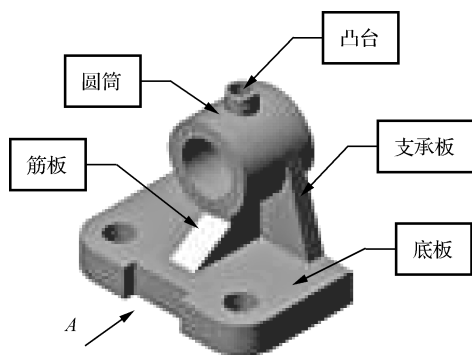


图 3-6 轴承座 1

主视图应能较明显地反映出组合体的主要形状特征，并尽可能使形体上的主要平面平行于投影面，故选择图中的 A 向作为投射方向。

## 2) 作图步骤

组合体作图步骤如图 3-7 所示。

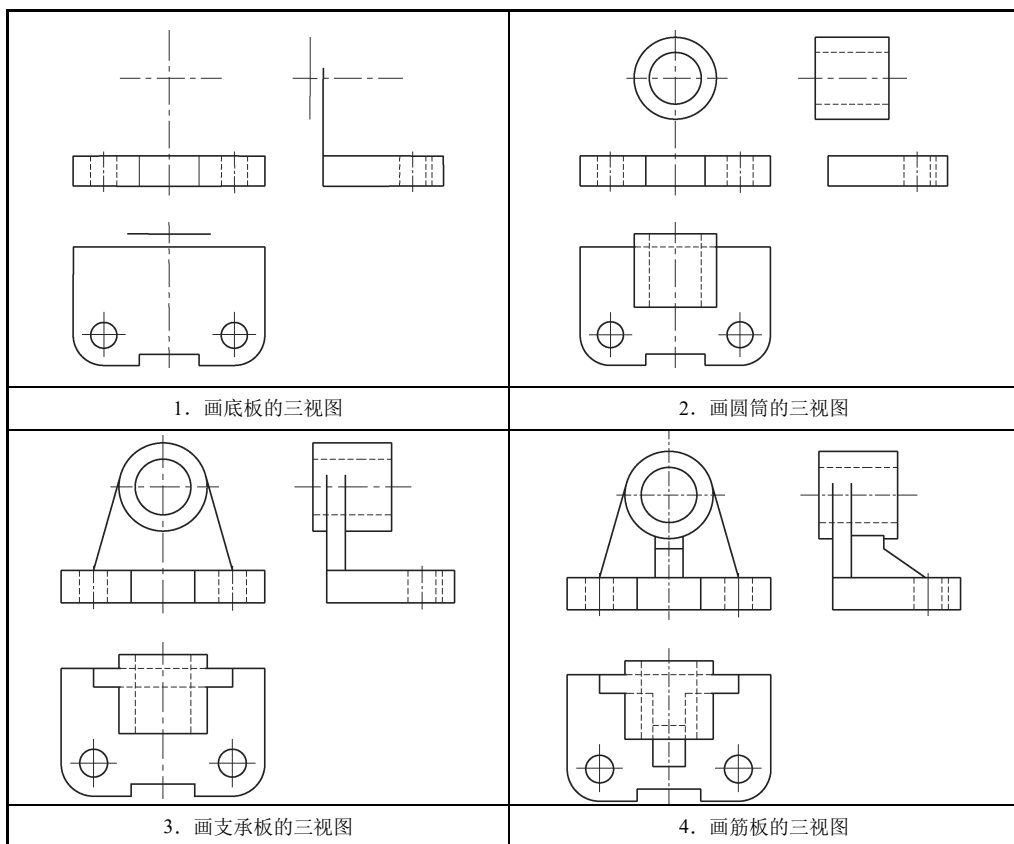


图 3-7 组合体作图步骤

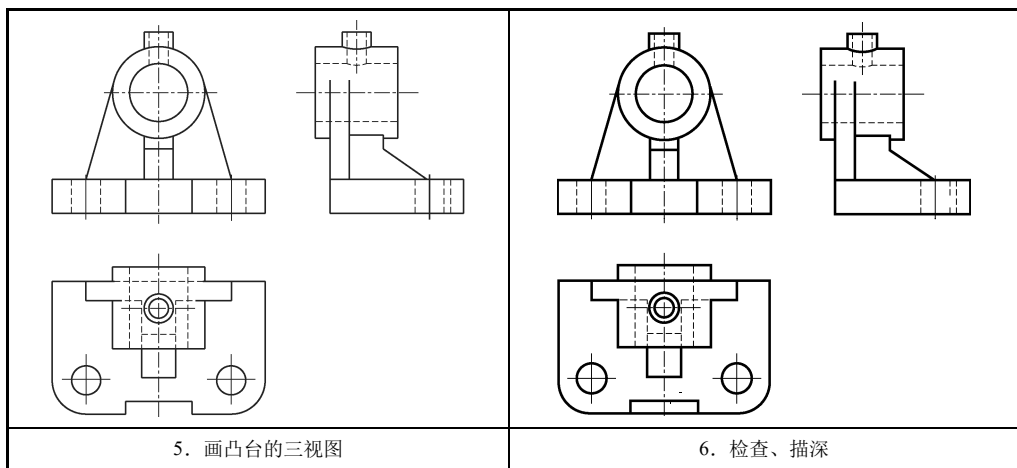


图 3-7 组合体作图步骤（续）

绘制三视图时，一般应从主视图入手，先整体后细节；先画主要部分，后画次要部分；先画外形，后画内部结构。

### 3.1.4 组合体的尺寸标注

在图样中，物体的结构形状由视图来表达，但其各部分大小及相对位置则由尺寸数值来确定。在组合体的投影图上标注尺寸，应达到“正确、完整、清晰”的基本要求。

正确：是指所标注的尺寸应符合国家标准中的有关规定。

完整：是指所标注的尺寸应能完全确定各部分的大小和位置。

清晰：是指所标注的尺寸应反映特征、集中标注、方便看图。

#### 1. 组合体的尺寸分类和组合体的尺寸基准

##### 1) 尺寸分类

根据组合体尺寸的作用不同，可将组合体的尺寸分为三类，即：

定形尺寸：确定组合体各组成部分的大小和形状的尺寸。

定位尺寸：确定组合体各组成部分之间相对位置的尺寸。

总体尺寸：确定组合体的外形总长、总宽和总高的尺寸。

##### 2) 尺寸基准

标注尺寸的起点，称为尺寸基准。组合体具有长、宽、高三个方向的尺寸，每个方向至少应有一个基准，因此，在标注每一个方向的尺寸时，应先选择好基准，以便从基准出发，确定各部分形体之间的位置。

基准的选择方法：组合体的尺寸基准选择应从多方面考虑，通常选取较为重要的或较大面积的平面及重要的几何元素（直线、点）作为尺寸基准，如组合体的底面、端面、对称平面、圆的对称中心线及回转体的轴线等。

## 2. 组合体的尺寸标注方法

组合体标注尺寸时, 首先应按形体分析法将组合体分解为若干个基本形体, 然后选择好基准, 并按照组合体尺寸标注的基本要求, 标注出各部分定形尺寸和相互之间的定位尺寸, 最后标注总体尺寸, 标注完后, 还要进行仔细的检查。

下面以轴承座 2 为例说明尺寸标注方法与步骤。

(1) 形体分析: 该组合体可分解为底板、支承板、筋板和圆筒四个部分。支承板、筋板与底板相连; 圆筒由支承板与筋板支承; 支承板与底板的后端面平齐, 斜面与圆筒外表面相切; 筋板与底板、圆筒相交, 如图 3-8 所示。

(2) 明确基准: 根据该组合体的结构特点及各组成部分的相互关系与作用, 可选择底板的底面作为高度方向的尺寸基准; 选择底板与筋板的右侧面作为长度方向的尺寸基准; 选择底板的后端面作为宽度方向的尺寸基准, 如图 3-9 所示。

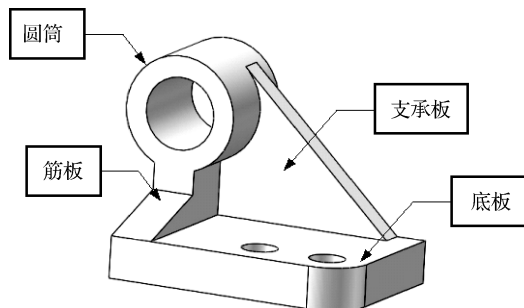


图 3-8 轴承座 2

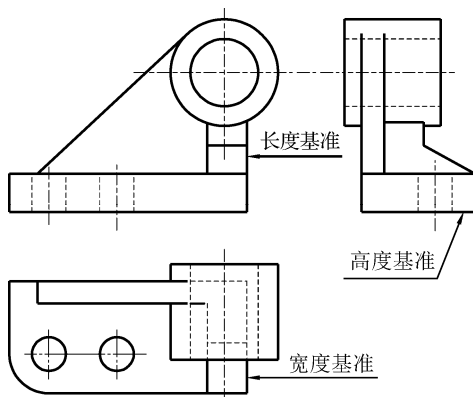


图 3-9 轴承座 2 尺寸基准

(3) 标注尺寸: 应以形体分析为基础, 逐一标注各连上个部分的定形尺寸和定位尺寸。在布置尺寸时, 应有全局意识, 做到排列整齐、清晰易读, 如图 3-10 所示。

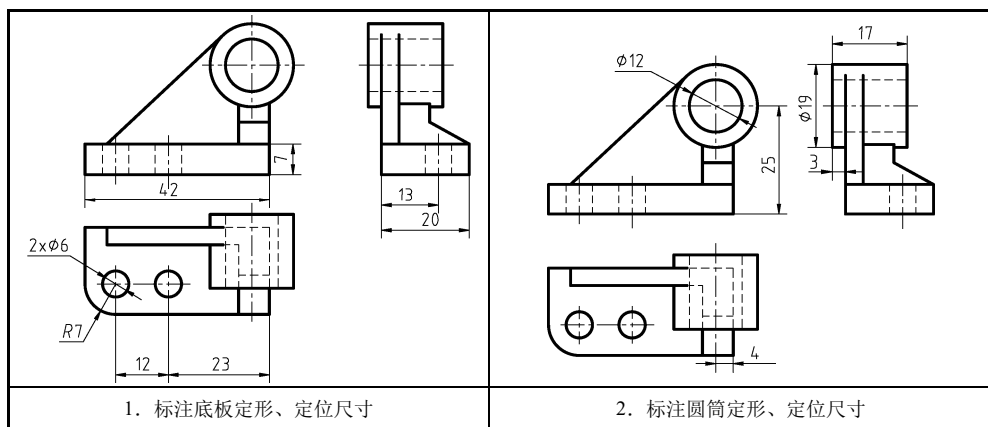


图 3-10 组合体标注步骤

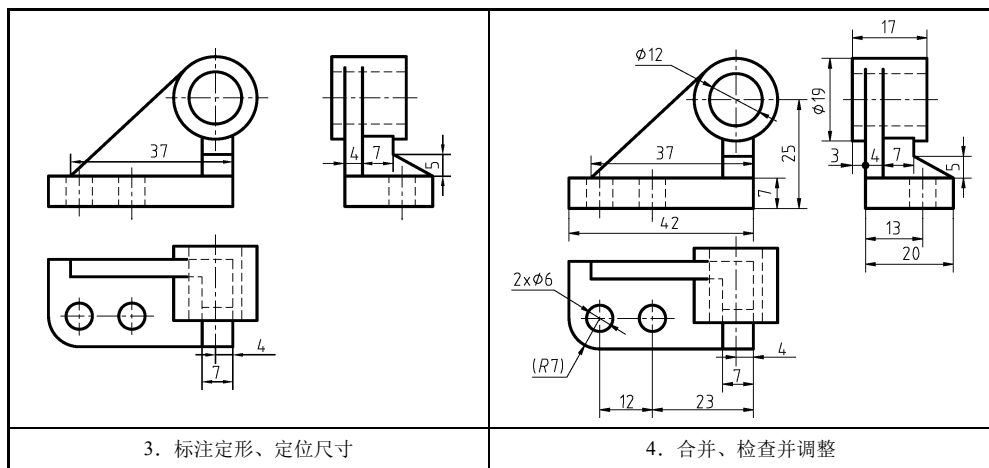


图 3-10 组合体标注步骤 (续)

## 3.2 轴测图

在工程上应用正投影法绘制的多面正投影图,可以完全确定物体的形状和大小,且作图简便,度量性好,依据这种图样可制造出所表示的物体。但它缺乏立体感,直观性较差,读图困难。为了解决这个问题,本节引入轴测图。

### 3.2.1 轴测图的定义

将物体和确定其空间位置的直角坐标系,沿不平行于任一坐标面的方向,用平行投影法将其投射在单一投影面上所得的具有立体感的图形叫作轴测图。

轴测图是一种单面投影图,在一个投影面上能同时反映出物体三个坐标面的形状,并接近于人们的视觉习惯,形象、逼真,富有立体感。但是轴测图一般不能反映出物体各表面的实形,因而度量性差,同时作图较复杂。因此,在工程上常把轴测图作为辅助图样,来说明机器的结构、安装、使用等情况;在设计中,用轴测图帮助构思、想象物体的形状,以弥补正投影视图的不足,如图 3-11 所示。

### 3.2.2 轴测图的特性

由于轴测图是用平行投影法形成的,所以在原物体和轴测图之间必然保持如下关系:

- (1) 若空间两直线互相平行,则在轴测图上仍互相平行。
- (2) 凡是与坐标轴平行的线段,在轴测图上必平行于相应的轴测轴,且其伸缩系数与相应的轴向伸缩系数相同。

凡是与坐标轴平行的线段,都可以沿轴向进行作图和测量,“轴测”一词就是“沿轴测量”的意思。而空间不平行于坐标轴的线段在轴测图上的长度不具备上述特性。

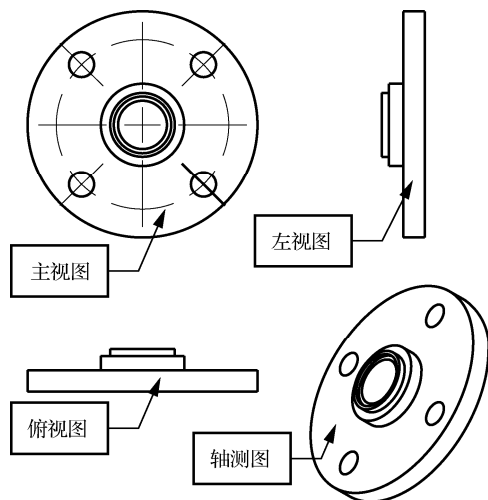


图 3-11 正投影视图与轴测图

### 3.2.3 轴测图的相关术语

#### 1. 轴测投影面

得到轴测投影的平面，称为轴测投影面，一般用字母  $P$  表示。采用正投影法形成的轴测图叫正轴测图，采用斜投影法形成的轴测图叫斜轴测图。

#### 2. 轴测轴与轴间角

建立在物体上的坐标轴在投影面上的投影叫作轴测轴，轴测轴间的夹角叫作轴间角，如图 3-12 所示。

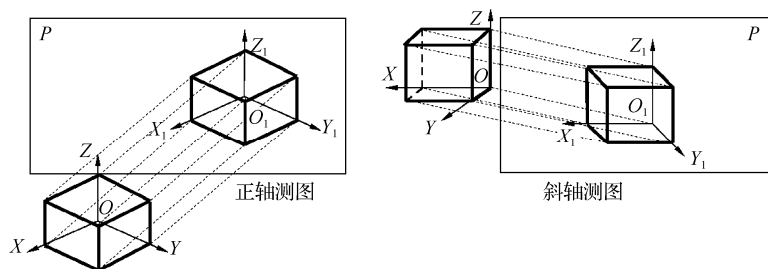


图 3-12 轴测图投影关系示意图

#### 3. 轴向伸缩系数

轴测轴上的单位长度与相应空间直角坐标轴上的单位长度之比，称为轴向伸缩系数。 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的轴向伸缩系数分别用  $p$ 、 $q$ 、 $r$  表示。



### 3.2.4 轴测图的分类

根据投影方向不同,轴测图可分为两类,即正轴测图和斜轴测图。根据轴向伸缩系数不同,轴测图又可分为等轴测、二等轴测和三等轴测轴测图。以上两种分类方法相结合,可得到六种轴测图。

#### 1. 正轴测投影(投影方向垂直于轴测投影面)

- (1) 正等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p=q=r$ 。
- (2) 正二等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p=r=2q$ 。
- (3) 正三等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p \neq q \neq r$ 。

#### 2. 斜轴测投影(投影方向倾斜于轴测投影面)

- (1) 斜等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p=q=r$ 。
- (2) 斜二等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p=r=2q$ 。
- (3) 斜三等轴测投影: 轴向伸缩系数  $p \neq q \neq r$ 。

### 3.2.5 轴测图的作图方法

轴测图的基本作图方法有坐标法、切割法和叠加法,其中坐标法是基础。

#### 1) 坐标法

对较简单的物体,可根据物体上一些关键点(如平面立体的顶点、曲线上的控制点)的坐标值作出这些点的轴测投影,再依次连线成图。

#### 2) 切割法

对较复杂的物体,用形体分析法可将其看成是由一个形状简单的基本体逐步切割而成,先画出该简单形体的轴测图,再在其上逐步切割。

#### 3) 叠加法

对较复杂立体,用形体分析法可将其看成是由几个简单的基本体叠加而成,把这些基本体的轴测图按照相对位置关系叠加即可得到整个物体的轴测图。

目前计算机辅助绘图已广泛普及,轴测图的作图方法和技巧将在第14章中做进一步介绍。

## 复习与思考

- 1. 参照轴测图 and 主视图及标注的尺寸完成另外两个视图,如图3-13所示。

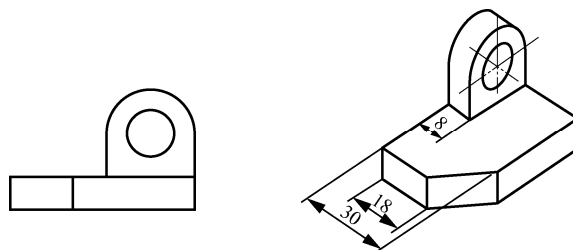


图 3-13 题 1 用图

2. 参照轴测图和俯视图及标注的尺寸完成另外两个视图，如图 3-14 所示。

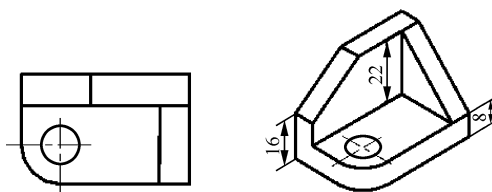


图 3-14 题 2 用图

3. 根据轴测图画三视图，如图 3-15 所示。

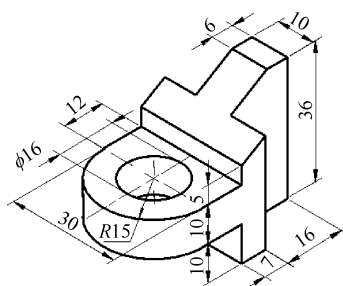


图 3-15 题 3 用图

## 第 4 章

# 零件图与装配图

### 4.1 零件图

任何一台医疗设备都由若干个零件按照一定的装配关系和技术要求装配而成。表达单个零件结构、尺寸和技术要求的图样称为零件图，它是加工和检验零件的依据。

#### 4.1.1 零件图的内容

从图 4-1 可以看出，一张完整的零件图应包括以下几项内容：

##### 1. 标题栏

标题栏内应填写零件的名称、图号、材料、数量、比例及技术人员的签名等。

##### 2. 一组图形

用必要的表达方法将零件的内外结构用一组图形完整、清晰地表达出来。

### 3. 一组完整的尺寸

零件图应正确、完整、清晰、合理地标注出制造和检验零件所需的全部尺寸。

### 4. 技术要求

用符号或文字标出零件加工和检验时应达到的技术要求，如表面粗糙度、尺寸公差、形位公差、表面处理等技术要求。

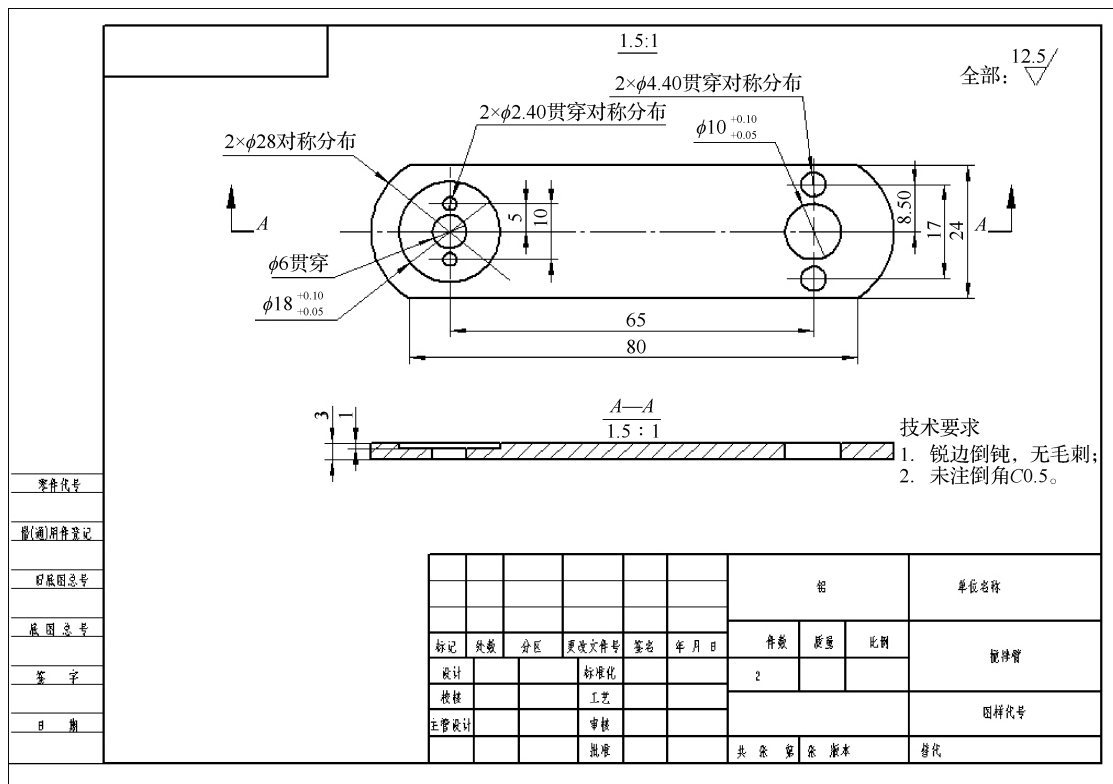


图 4-1 零件图的内容

## 4.1.2 零件的视图选择

零件的视图选择和视图表达应在正确、完整、清晰地表达零件结构形状的前提下，首先要考虑符合生产加工的要求和看图的方便，然后尽量减少视图的数量，同时，力求作图简便。

### 1. 主视图的选择原则

主视图是表达零件形状最重要的视图，其选择是否合理将直接影响其他视图的画法及看图的方便。一般来说，选择零件主视图要考虑以下两大原则。

#### 1) 工作位置原则

工作位置是指零件在装配体中所处的位置。工作位置原则是指零件主视图的选择应尽量与

零件在机器中的工作位置一致,这样便于根据装配关系来考虑零件的形状及尺寸。图4-2所示的下模座的主视图就是按工作位置来绘制的。

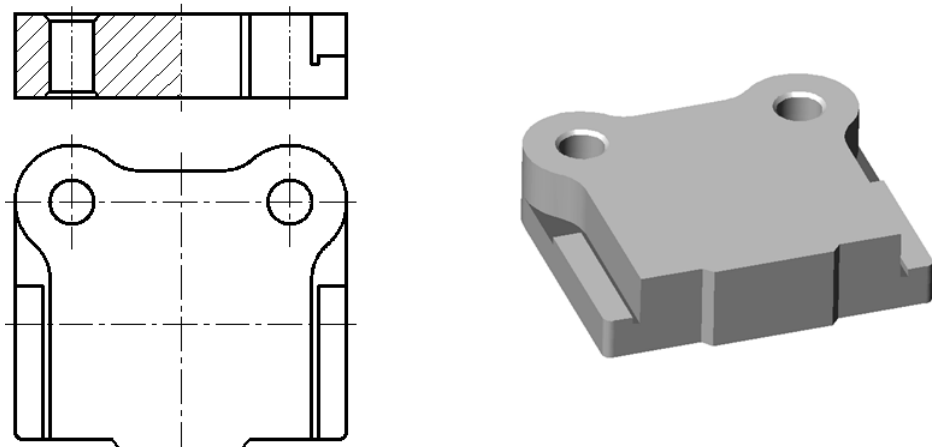


图4-2 工作位置原则选择主视图

## 2) 加工位置原则

加工位置是指零件在加工时所处的位置。加工位置原则是指零件按加工位置来绘制主视图,以便于对照图样进行加工和测量。一般的轴类零件的主视图就是按加工位置来绘制的,如图4-3所示。

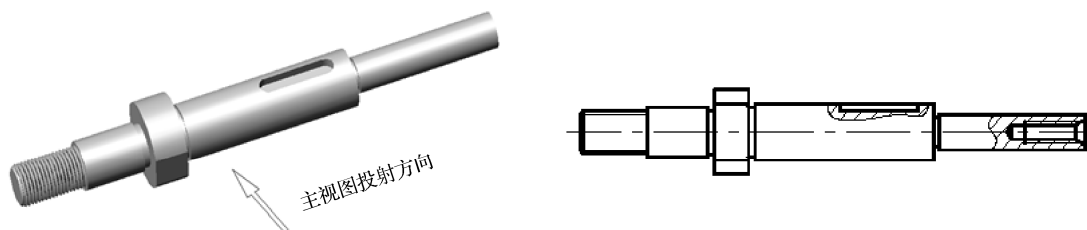


图4-3 加工位置原则选择主视图

## 2. 其他视图的选择原则

其他视图主要用来表达主视图尚未表达清楚的结构。所以主视图确定后,其他视图的选择应考虑以下几点:

(1) 要根据零件的复杂程度和内外结构,全面考虑其他视图的选择,各视图应相互配合而不重复,使每一个视图都有一个表达的重点,但视图数目不宜过多和过于复杂。

(2) 零件的主要结构应优先选用基本视图,并适当地选用剖视等表达方法。

(3) 对尚未表达清楚的局部结构或倾斜部分结构,采用局部(剖)视图、斜(剖)视图;对于尚未表达清楚的细小结构采用局部放大图,并尽量按投影关系配置,如图4-4所示轴承座。

(4) 表达零件形状要符合正确、完整、清晰和简便的要求。图4-4所示为实体图轴承座和三个表达方案。我们来比较不同表达方案的优缺点,图4-4(b)为用三视图表达轴承座,主视图采用外形视图,左视图采用全剖视,俯视图也采用全剖视,另加一个B—B的局部剖视图和一个移出断面图;如图4-4(c)所示,主视图采用外形视图,左视图改为局部剖视图,减少了

一个  $B-B$  的局部剖视图, 同时将俯视图简化为一个移出断面, 故图 (c) 优于图 (b); 如图 4-4 (d) 所示, 按工作位置绘制主视图并采用局部剖视图, 同时为表示肋板厚度在主视图增加一个重合断面, 主视图为基本视图, 为表达支承板的形状也加上一个重合断面, 这样图 (d) 则形状更加简单明了, 看图方便, 绘图也简便, 很显然 (d) 方案优于 (b)、(c) 方案。因此表达零件应根据实际情况来选用表达方案, 不能死板地套用三视图。

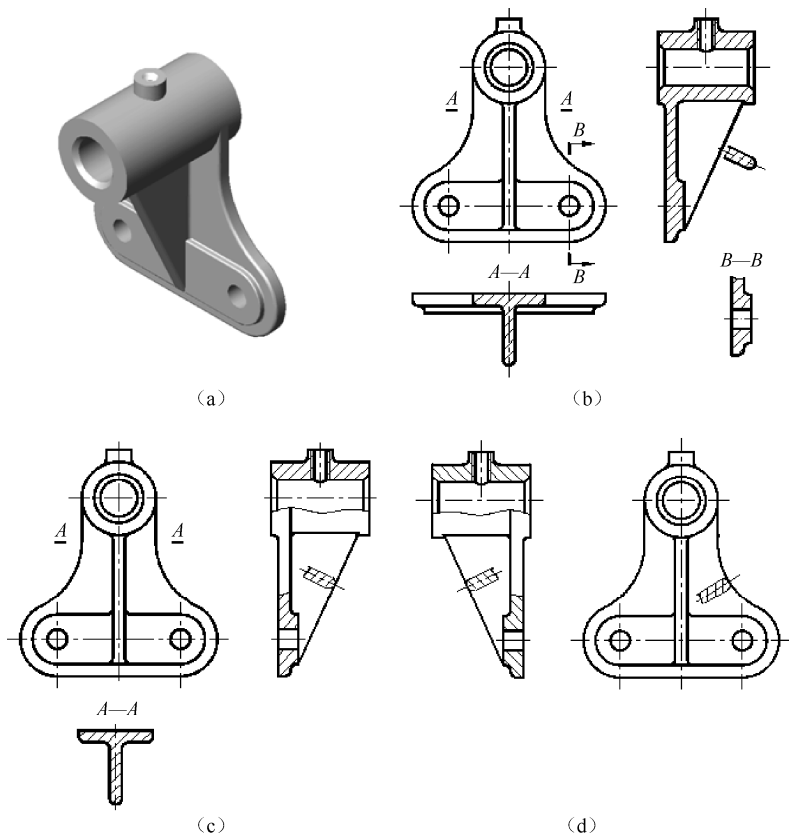


图 4-4 零件视图表达方案选择

选择零件表达方案时应注意以下问题:

(1) 视图的数量取决于零件结构的复杂程度, 在完整、清晰地表达零件形状的前提下, 尽量减少图形的数量。

(2) 零件图中尽量少画或不画虚线, 但当省略虚线则形状表达不清时, 就必须画出虚线。

### 4.1.3 零件图的标注

零件图上, 图形只表达零件的形状, 而零件的大小则由图上所注出的尺寸数值来确定。因此, 零件图的尺寸标注, 除了要正确、完整、清晰外, 还要合理。尺寸标注的合理性是指保证达到设计要求, 符合加工和测量的工艺要求。

#### 1. 尺寸基准的选择

标注尺寸的起点称为尺寸基准, 具体来说就是指用以确定其他点、线、面位置所依据的那

些点、线、面。如图 4-5 所示,在板上打圆孔,圆孔的中心就必须从下底面(或上底面)来确定,那么下底面(或上底面)就是高度尺寸的基准;以中心对称面为基准来标注长度尺寸;以前端面或后端面为基准来标注宽度尺寸。当零件结构比较复杂时,同一方向上尺寸基准可能有几个,其中决定零件主要尺寸的基准称为主要基准,为加工和测量方便而附加的基准称为辅助基准,主要基准和辅助基准之间应标注联系尺寸,如图 4-6 中的 58。由于作用不同,基准又分为设计基准和工艺基准两类。

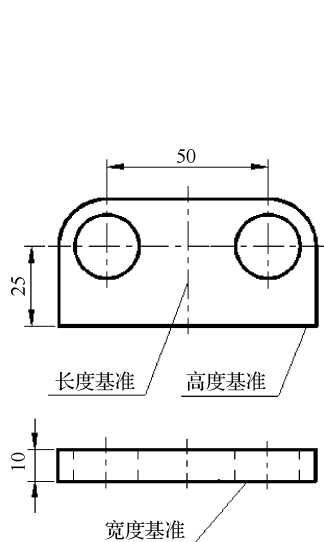


图 4-5 基准的确定

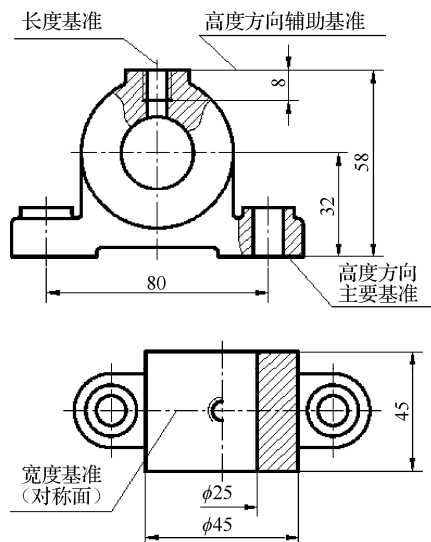


图 4-6 主要基准与辅助基准

### 1) 设计基准

根据部件或机器的设计要求,在设计中用以确定零件在部件或机器中的几何位置的基准称为设计基准。从设计基准出发标注尺寸,其优点是反映了设计要求,能保证所设计的零件在机器中的工作性能。如图 4-6 所示,主要尺寸 58 应从基准(底面)出发直接标出,若从其他位置标注,则不符合设计要求。

### 2) 工艺基准

根据零件加工和测量的要求所选定的基准称为工艺基准。从工艺基准出发标注尺寸,其优点是便于零件加工和测量。如图 4-7 所示的轴的基准就是按加工的要求来确定的。

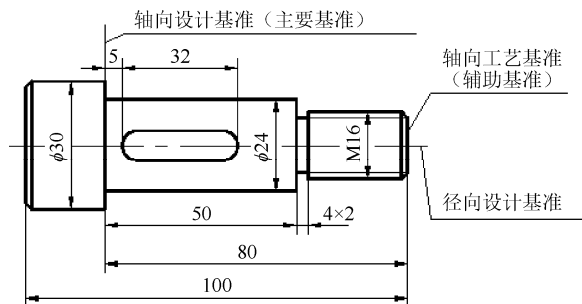


图 4-7 设计基准与工艺基准

### 3) 选择基准的原则

(1) 在标注尺寸时, 尽量把设计基准和工艺基准统一起来, 这样, 既能满足设计要求, 又能满足工艺要求。如二者不能统一, 就以保证设计要求为主。

(2) 零件的主要尺寸应从设计基准出发, 对其余尺寸考虑到加工和测量的方便, 一般应从工艺基准标出。

(3) 零件图上常见的基准: 零件上主要回旋面的轴线、对称平面、主要加工面、支承面、零件的安装面及大的端面。

## 2. 尺寸的标注

(1) 零件上的主要尺寸应从基准直接标出, 以保证加工时达到设计要求。

(2) 避免出现封闭的尺寸链。

封闭的尺寸链是指同一方向首尾相接并封闭的一组尺寸, 如图 4-8 (a) 所示的阶梯轴, 长度方向尺寸  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  首尾相接, 构成封闭的尺寸链, 这种情况应该避免。因为尺寸  $A_1$  是尺寸  $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  之和, 尺寸  $A_1$  又有一定的精度要求, 而在加工时  $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  的误差均会累积到尺寸  $A_1$  上, 若要保证  $A_1$  的精度, 就必须提高  $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  的加工精度, 这将给加工带来困难, 并提高成本。所以在几个尺寸构成的尺寸链中, 应选一个不重要的尺寸空出不标, 如图 4-8 (b) 中, 去掉  $A_4$ , 使所有的尺寸误差都累积到这一段, 以保证重要尺寸的精度, 提高加工的经济性。

(3) 标注尺寸时应考虑便于加工和测量。

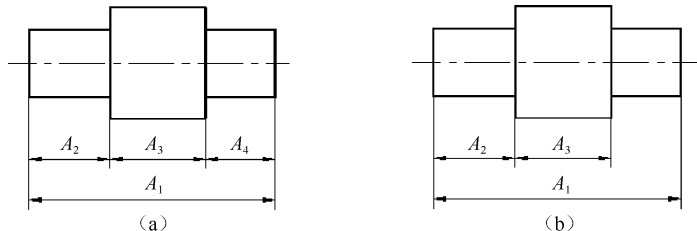


图 4-8 避免出现封闭的尺寸链

## 3. 零件上常见结构的标注

常见结构的尺寸标注如表 4-1 所示。

表 4-1 常见结构的尺寸标注

零件结构类型	一般注法	简化注法	说明
光孔			$4 \times \phi 5$ 表示直径为 5mm 均匀分布的四个光孔。孔深可与孔径连注, 也可分开注出



续表

零件结构类型	一般注法	简化注法	说明
锥形沉孔			$6 \times \phi 6.5$ 表示直径为 6.5mm 均匀分布的六个孔。锥形沉孔可以旁注, 也可直接注出
柱形沉孔			柱形沉孔的直径为 $\phi 11.5\text{mm}$ , 深度为 6mm, 均需标注
铤平沉孔			铤平面 $\phi 15\text{mm}$ 的深度不必标注, 一般铤平到不出现毛面为止
通孔螺孔			$2 \times \text{M}8$ 表示公称直径为 8mm 的两个螺孔, 可以旁注, 也可直接注出
不通螺孔			一般应分别注出螺纹和孔的深度尺寸

## 4.2 装配图

装配图是用来表达机器或部件的图样。在对现有机械设备的使用和维修过程中, 常需要通过装配图来了解机器的结构和连接关系。装配图也常用来进行设计方案的论证和技术交流。因此, 装配图是设计、安装、维修机器或进行技术交流的一项重要的技术资料。

### 4.2.1 装配图的作用与内容

#### 1. 装配图的作用

设计及制造医疗设备的一般过程是: 调研构思并确定设计方案 (必要时可画出轴测图、结

装配图是工程技术人员表达设计意图的机器或部件的图样,它不仅要表达清楚机器或部件的装配关系、尺寸及技术要求等,还要尽量表达出各零件的形状,以便于拆画零件图,是设计、制造、检验、安装、使用和维修机器或部件及进行技术交流的重要技术文件。

一张完整的装配图一般应具有以下五个方面的内容,如图 4-9 所示。

(2) 必要的尺寸：主要包括与机器或部件有关的规格尺寸、装配尺寸、安装尺寸、外形尺寸及其他重要尺寸。

(3) 技术要求：用文字或符号说明与机器或部件有关的性能、装配、检验、安装、调试和使用等方面的技术要求。

(4) 零件序号、明细栏：是装配图与零件图的重要区别，用以说明零件的序号、代号、名称、数量、材料内容等。

(5) 标题栏：填写部件或机器的名称、图号、绘图比例、设计单位等，由设计、制图、审核者签上姓名和日期，以表明各自的相关责任。

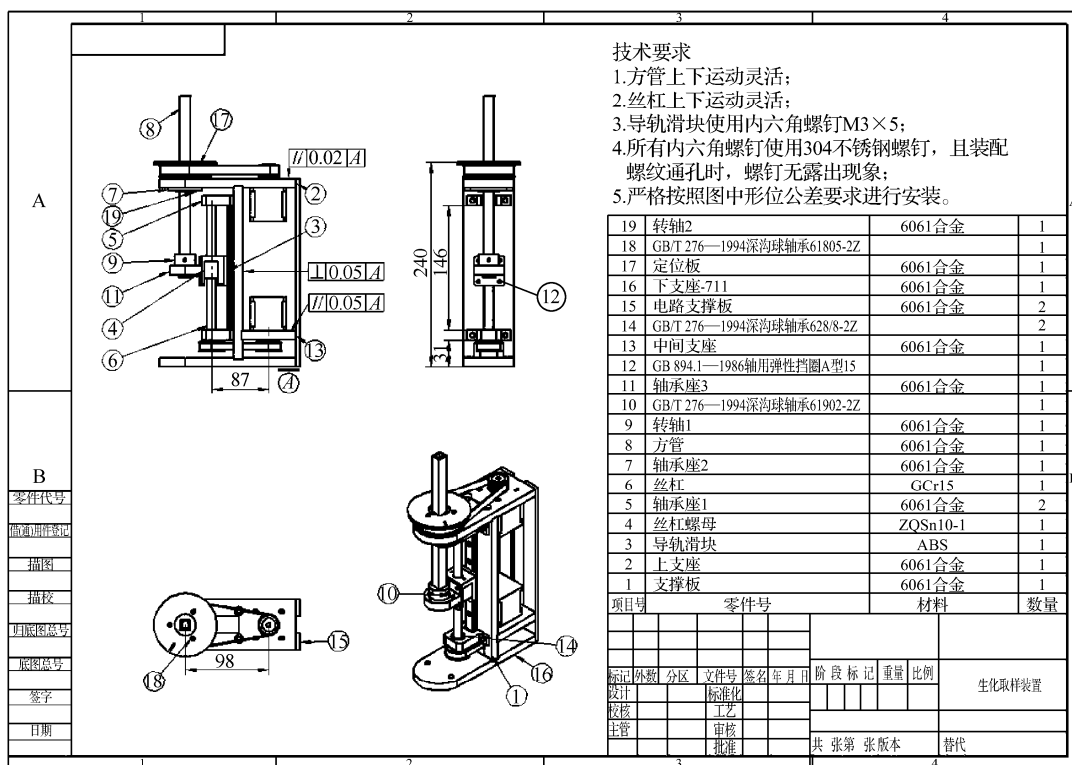


图 4-9 装配图的组成

## 4.2.2 装配图的尺寸标注与技术要求

### 1. 装配图的尺寸标注

装配图上不需要注出零件的全部尺寸, 仅需标注机器的规格尺寸、装配关系和配合尺寸等。

(1) 规格尺寸: 也叫性能尺寸, 反映部件或机器的规格和工作性能, 这种尺寸在设计时要首先确定, 它是设计、了解和选用机器的依据。

(2) 装配尺寸: 表示零件间装配关系和工作精度的尺寸, 一般有下列几种:

- 配合尺寸: 表示零件间有配合要求的一些重要尺寸。
- 相对位置尺寸: 表示装配时需要保证的零件间较重要的距离、间隙等。
- 装配时加工尺寸: 有些零件要装配在一起后才能进行加工, 装配图上要标注装配时的加工尺寸。

(3) 安装尺寸: 将部件安装在机器上, 或机器安装在基体上, 需要确定的尺寸。

(4) 外形尺寸: 表示机器或部件总长、总宽、总高, 是包装、运输、安装和厂房设计时所需的尺寸。

(5) 其他重要尺寸: 不属于上述的尺寸, 但设计或安装时需要保证的尺寸。

### 2. 装配图的技术要求

装配图中的技术要求主要用于说明机器或部件在装配、检验、使用时应达到的技术性能和质量要求等。主要有如下几个方面:

- (1) 装配要求: 装配时的注意事项和装配后应达到的指标等, 如装配方法、装配精度等。
- (2) 检验要求: 检验、实验的方法和条件及应达到的指标。
- (3) 使用要求: 机器在使用、保养、维修时提出的要求, 如限速、限温、绝缘要求及操作注意事项等。

必须指出: 技术要求通常写在明细栏左侧或其他空白处, 内容太多时可以另编技术文件。

## 4.2.3 装配图的序号及明细栏

装配图上对每个零件或部件都必须编注序号或代号, 并填写明细表, 以便生产、看图和图样管理。

### 1. 零件序号

为了便于读图, 装配图的零件应进行编号, 这种编号称为零件序号, 如图 4-10 所示。零件序号的编排方法应遵循 GB/T 4458.2—2003 的规定, 零件序号标注的一般规定为:

(1) 序号应标注在图形轮廓线的外边, 并填写在指引线的横线上或圆内。指引线应从所指零件的可见轮廓内引出, 并在末端画一小圆点。

(2) 若所指部分不便画圆点, 可在指引线末端画出箭头。

(3) 指引线不要彼此相交。

(4) 必要时, 指引线可画成折线, 但只允许弯折一次。

- (5) 对于零件组，允许采用公共指引线。
- (6) 每一种零件只编写一个序号。
- (7) 要沿水平或垂直方向按顺时针或逆时针次序排列整齐。
- 装配图零件序号的标注方法将在第 14 章中做详细介绍。

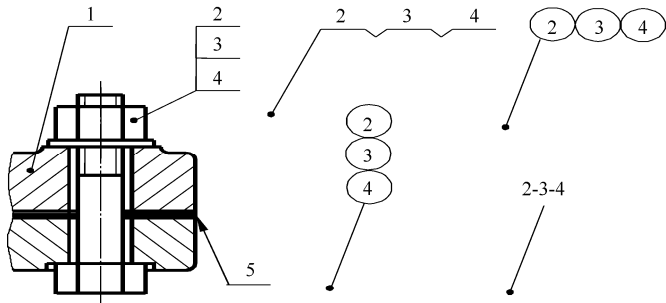


图 4-10 装配图零件序号

## 2. 明细栏

明细栏一般画在标题栏上方，如果上方图面位置不够，则明细栏也可画在标题栏左方，如图 4-11 所示。

项目号	零件号						材料	数量
1	光源座						6061 铝合金	1
2	灯座						6061 铝合金	1
3	镜头顶丝						201 不锈钢	1
4	镜头座						6061 铝合金	1
5	GB_CROSS_SCREWS_T YPE141 M8X16-C						标准件	1
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年月日	阶段标记	质量	比例
设计			标准化					
审核			工艺					
主管设计			审核					
			批准			共 张 第 张	版本	替代

图 4-11 明细栏及标题栏

## 复习与思考

1. 尺寸标注基准的选择原则是什么？
2. 零件图中尺寸标注合理性的要求是什么？
3. 零件图的尺寸标注方法有哪些？
4. 完成的装配图包含哪些内容？
5. 装配图上应标注哪几类尺寸？

## 第5章

# 几何精度设计

### 5.1 尺寸精度

几何要素的尺寸决定了零件的大小及形状，实际加工制作的零件的实际尺寸与理想尺寸必然存在差异。为了满足零件使用要求，必须限制这种差异，对零件尺寸规定精度要求。尺寸的精度要求用公差表示。

#### 5.1.1 公差与配合的基本概念

##### 1. 基本尺寸

根据零件的强度和结构要求，设计时确定的尺寸，其数值应优先用标准直径或标准长度。

##### 2. 实际尺寸

零件制成后，通过实际测量所得的尺寸。实际尺寸是实际零件上某一位置的测得值，加之测量时存在的测量误差，所以实际尺寸并非真值。

### 3. 极限尺寸

允许尺寸变动的两个界限值，以基本尺寸为基数来确定。两个界限值中较大的一个称为最大极限尺寸；较小的一个称为最小极限尺寸。

### 4. 尺寸偏差（简称偏差）

尺寸偏差为极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。

尺寸偏差有：

上偏差=最大极限尺寸-基本尺寸

下偏差=最小极限尺寸-基本尺寸

上、下偏差统称为极限偏差，上、下偏差可以是正值、负值或零。

国家标准规定：孔的上偏差代号为 ES，孔的下偏差代号为 EI；轴的上偏差代号为 es，轴的下偏差代号为 ei，如图 5-1 所示，则上式可表示为

$$ES = D_{\max} - D \quad (5-1)$$

$$EI = D_{\min} - D \quad (5-2)$$

$$es = d_{\max} - D \quad (5-3)$$

$$ei = d_{\min} - D \quad (5-4)$$

式中  $D$ —孔轴的基本尺寸；

$D_{\max}$ —孔的最大极限尺寸；

$D_{\min}$ —孔的最小极限尺寸；

$d_{\max}$ —轴的最大极限尺寸；

$d_{\min}$ —轴的最小极限尺寸。

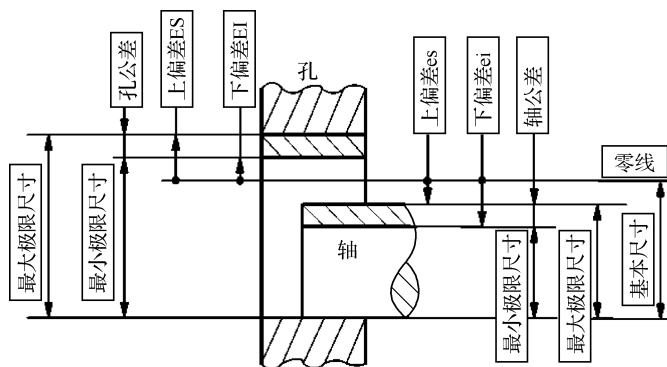


图 5-1 公差与配合示意图

### 5. 尺寸公差（简称公差）

允许尺寸的变动量称为尺寸公差。尺寸公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差。孔的公差用  $T_h$  表示，轴的公差用  $T_s$  表示，其关系为

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (5-5)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (5-6)$$

因为最大极限尺寸总是大于最小极限尺寸，也即上偏差总是大于下偏差，所以尺寸公差一

定为正值。

6. 零线、公差带和公差带图

表示零件的尺寸相对其基本尺寸所允许变动的范围叫作尺寸公差带。图解方式为公差带图，如图 5-2 所示。

(1) 零线：它是在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常以零线表示基本尺寸，标注为“0”，偏差由此零线算起，零线以上为正偏差，零线以下为负偏差，分别标注“+”、“-”号，若为零，可不标注。

(2) 公差带：公差带图中用与零线平行的直线表示上、下偏差。公差带在零线垂直方向上的宽度代表公差值，沿零线方向的长度可适当选取。通常孔公差带用由左上角向右下角的斜线表示，轴公差带用由左上角向右下角的斜线表示。

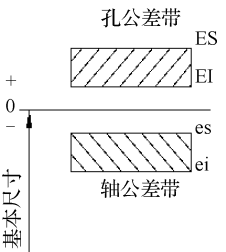


图 5-2 公差带图

5.1.2 标准公差与基本偏差

为了满足不同的配合要求，国家标准规定孔、轴公差带由标准公差和基本偏差两个要素组成。标准公差用于确定公差带大小，基本偏差用于确定公差带位置。

1. 标准公差

标准公差是国家标准所列的以确定公差带大小的任一公差。标准公差等级是确定尺寸精确程度的等级。标准公差分 20 个等级，即 IT01、IT0、IT1~IT18，表示标准公差，阿拉伯数字表示标准公差等级，其中 IT01 级最高，等级依次降低，IT18 级最低。对于一定的基本尺寸，标准公差等级越高，标准公差值越小，尺寸的精确程度越高。国家标准将 500mm 以内的基本尺寸范围分成 13 段，按不同的标准公差等级列出了各段基本尺寸的标准公差值，如表 5-1 所示。

表 5-1 标准公差等级表

基本尺寸 (mm)		标准公差等级																	
大于	至	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
		μm											mm						
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2

续表

基本尺寸 (mm)		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	$\mu\text{m}$											mm						
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

## 2. 基本偏差

基本偏差是标准所列的、用来确定公差带相对零线位置的上偏差或下偏差，一般是指孔和轴的公差带中靠近零线的那个偏差。当公差带在零线的上方时，基本偏差为下偏差，反之则为上偏差，如图 5-3 所示。

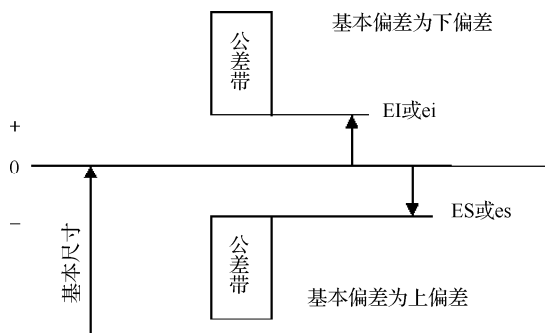


图 5-3 基本偏差示意图

根据实际需要，国家标准分别对孔和轴各规定了 28 个不同的基本偏差，孔和轴的基本偏差数值可从有关表中查出。

从图 5-4 中可知：

(1) 基本偏差代号用拉丁字母表示，大写字母表示孔的基本偏差代号，小写字母表示轴的基本偏差代号。由于图中用基本偏差只表示公差带大小，故公差带一端画成开口。

(2) 孔的基本偏差从 A~H 为下偏差，J~ZC 为上偏差，JS 的上、下偏差分别为  $+IT/2$  和  $-IT/2$ 。

(3) 轴的基本偏差从 a~h 为上偏差，j~zc 为下偏差，js 的上、下偏差分别为  $+IT/2$  和  $-IT/2$ 。孔和轴的另一偏差可由基本偏差和标准公差算出。

【例 5-1】 利用标准公差数值表和轴的基本偏差数值表，确定  $\phi 50f6$  轴的极限偏差数值。

解：查表 5-1 得  $IT6=16\mu\text{m}$ 。

查轴的基本偏差表可得，基本偏差  $es=-25\mu\text{m}$ ，所以

$$ei=es-IT6=(-25)-16=-41\mu\text{m}$$

在图样上可标注为  $\phi 50_{-0.041}^{-0.025}$ 。



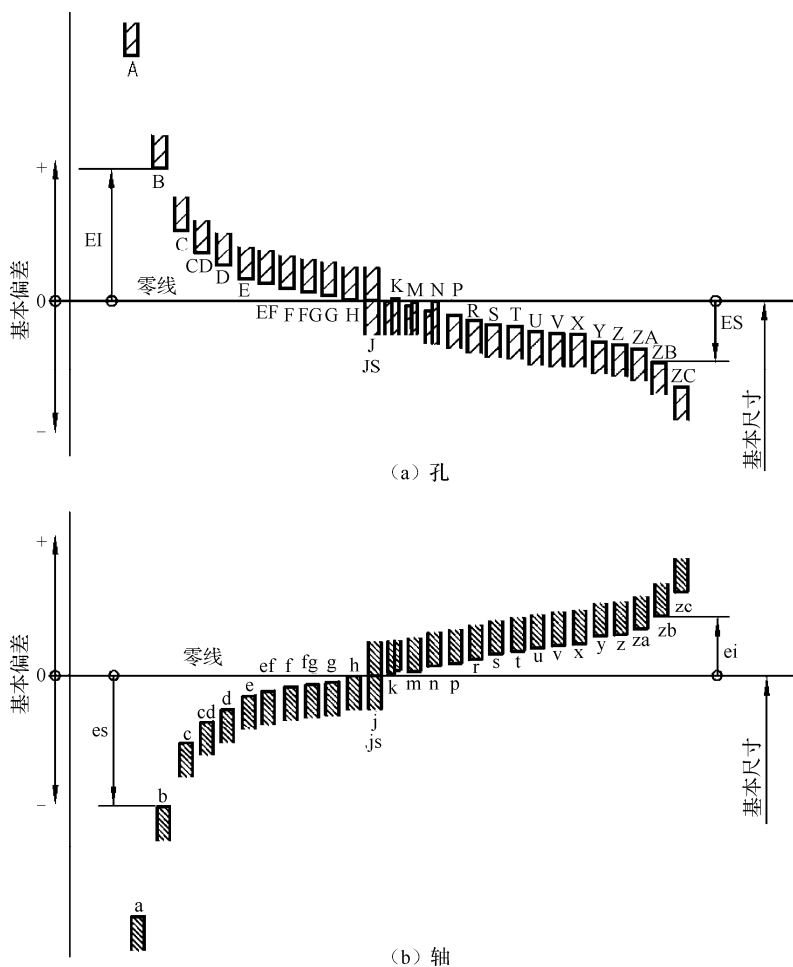


图 5-4 基本偏差系列

### 5.1.3 孔与轴的配合

在机器装配中，基本尺寸相同并相互结合的孔和轴的公差带之间的关系称为配合。由于孔和轴的实际尺寸不同，装配后可以产生“间隙”或“过盈”。在孔与轴的配合中，孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差为正值时是间隙，为负值时是过盈。

#### 1. 配合的种类

配合按其出现间隙或过盈的不同分为三类：

##### 1) 间隙配合

孔的公差带在轴的公差带之上，任取其中一对孔和轴相配都成为具有间隙的配合，如图 5-5 所示。

##### 2) 过盈配合

孔的公差带在轴的公差带之下，任取其中一对孔和轴相配都为具有过盈的配合，如图 5-6

所示。

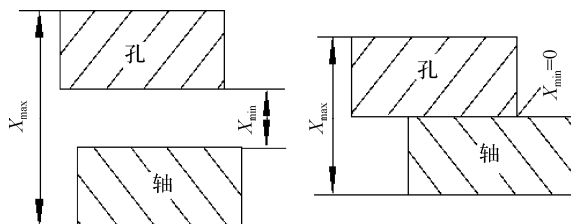


图 5-5 间隙配合

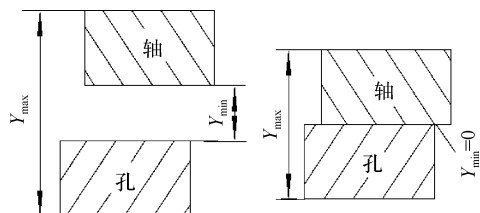


图 5-6 过盈配合

### 3) 过渡配合

孔的公差带与轴的公差带相互交叠，任取其中一对孔和轴相配，可能是具有间隙，也可能是具有过盈的配合，如图 5-7 所示。

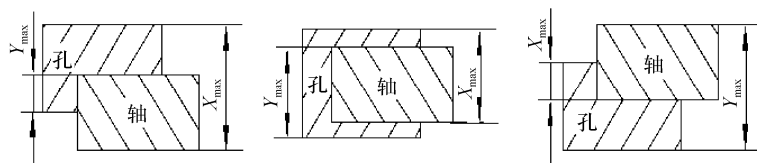


图 5-7 过渡配合

## 2. 配合的基准制

国家标准规定了两种基准制，如图 5-8 所示。

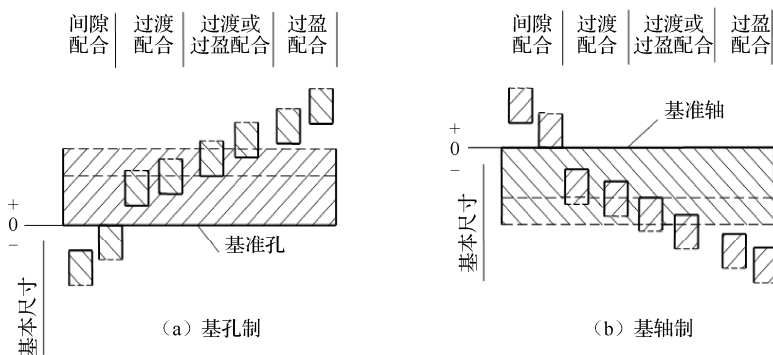


图 5-8 基准制

### 1) 基孔制

基本偏差一定的孔的公差带与基本偏差的轴的公差带构成各种配合的一种制度，也就是在基本尺寸相同的配合中将孔的公差带位置固定，通过变换轴的公差带位置得到不同的配合。

基孔制的孔称为基准孔，国家标准中规定基准孔的下偏差为零，“H”为基准孔的基本偏差代号。

### 2) 基轴制

基本偏差一定的轴的公差带与不同基本偏差的孔的公差带构成各种配合的一种制度，也就是在基本尺寸相同的配合中将轴的公差带位置固定，通过变换的孔的公差带位置得到不同

的配合。

基轴制的轴称为基准轴，国家标准中规定基准轴的上偏差为零，“h”为基准轴的基本偏差代号。

在基孔制中，基准孔 H 与轴配合，a~h（共 11 种）用于间隙配合；j~n（共 5 种）主要用于过渡配合；n、p、r 可能为过渡配合或过盈配合；p~zc（共 12 种）主要用于过盈配合。

在基轴制中，基准轴 h 与孔配合，A~H（共 11 种）用于间隙配合；J~N（共 5 种）主要用于过渡配合；N、P、R 可能为过渡配合或过盈配合；P~ZC（共 12 种）主要用于过盈配合。

5.1.4 国标中规定的公差带与配合

1. 国标中规定的公差带

原则上允许任一孔、轴组成配合。但为了简化标准和使用方便，根据实际需要规定了优先、常用和一般用途的孔、轴公差带，从而有利于生产和减少刀具、量具的规格和数量，方便技术工作。表 5-2 和表 5-3 分别为基本尺寸≤500mm 轴/孔优先、常用和一般用途公差带。应按顺序选用。

表 5-2 基本尺寸≤500mm 轴优先、常用和一般用途公差带

h1		js1	
h2		js2	
h3		js3	
g4		h4	js4 k4 m4 n4 p4 r4 s4
f5		g5	h5
j5		js5	k5 m5 n5 p5 r5 s5 t5 u5 v5 x5
e6		f6	<b>g6</b> <b>h6</b>
j6		js6	<b>k6</b> m6 <b>n6</b> <b>p6</b> r6 <b>s6</b> t6 <b>u6</b> v6 x6 y6 z6
d7		e7	<b>f7</b> g7 <b>h7</b>
j7		js7	k7 m7 n7 p7 r7 s7 t7 u7 v7 x7 y7 z7
c8		d8	e8 f8 g8 h8
js8		k8	m8 n8 p8 r8 s8 t8 u8 v8 x8 y8 z8
a9	b9	c9	<b>d9</b> e9 f9 <b>h9</b>
js9			
a10	b10	c10	d10 e10 h10
js10			
a11	b11	<b>c11</b>	d11 <b>h11</b>
js11			
a12	b12	c12	h12
js12			
a13	b13		
h13		js13	

表 5-2 中，轴的优先公差带有 13 种（加粗），常用公差带 59 种（方框内），一般用途公差带 119 种。

[illegible]

## 2. 国标中规定的配合

表 5-4 基孔制优先和常用配合 (摘自 GB/T 1801—1999)

[illegible]

注：标注“灰色”的配合为优先配合。

表 5-5 基轴制优先和常用配合（摘自 GB/T 1801—1999）

基 准 孔	孔																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	
	间隙配合								过渡配合				过盈配合									
						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$						
h5																						
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{JS7}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$					
H7					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$										
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$														
h9				$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9}{h9}$														
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$														
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$														
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$														

注：标注“灰色”的配合为优先配合。

从表中可以看出加工工艺等价原则在这里反映出的经济性：孔、轴公差等级以 IT8 为界，低于等于 IT8 级的轴与孔采用同级配合，但高于 IT8 级的轴必须与低一级的孔配合。

3. 一般公差线性尺寸的未注公差

一般公差是指在车间一般加工条件下可保证的公差，是机床设备在正常维护和操作情况下能达到的经济加工精度。采用一般公差时，在该尺寸后不标注极限偏差或其他代号，所以也称未注公差，一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸。

在 GB/T 1804—2000 中，规定了四个公差等级，其线性尺寸一般的公差等级及其极限偏差数值见表 5-6。

表 5-6 线性尺寸未注极限偏差的数值（摘自 GB/T 1804—2000） (mm)

公 差 等 级	尺 寸 分 段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
f（精密级）	±0.5	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
m（中等级）	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c（粗糙级）	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v（最粗级）	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

采用一般公差时，在图样上不标注公差，但应在技术要求中做相应注明，例如选用中等级 m 时，表示为 GB/T 1804—m。

【例 5-2】 零件图尺寸公差与配合标注读解—— $\phi 32h6$ 。

解：轴基本尺寸为  $d=32\text{mm}$ 。

公差等级：查表 5-1，由基本尺寸 30~50mm 的横行与 IT6 的纵列相交处，知标准公差 IT6=16 $\mu$ m。

基本偏差：代号为 h，查轴的基本偏差数值表，由基本尺寸 30~40mm 的横行与 h 的纵列相交处，查得基本偏差为上偏差，且 es=0。

极限偏差的计算：下偏差 ei=es-IT6=0-16=-16 $\mu$ m (-0.016mm)，该公差标注还可以用  $\phi 32_{-0.016}^0$  mm 表示。

最大极限尺寸： $d_{\max} = d + es = 32 + 0 = 32$ mm；

最小极限尺寸： $d_{\min} = d + ei = 32 + (-0.016) = 31.984$ mm；

尺寸合格条件： $31.984\text{mm} \leq d_a \leq 32\text{mm}$ 。

**【例 5-3】** 零件图尺寸公差与配合标注读解—— $\phi 32\text{H}7$ 。

解：孔基本尺寸为  $D=32$ mm。

公差等级：查表 5-1，由基本尺寸 30~50mm 的横行与 IT7 的纵列相交处，知公差标准 IT7=25 $\mu$ m。

基本偏差：代号为 H，查孔的基本偏差数值表，由基本尺寸 30~40mm 的横行与 H 的纵列相交处，查得基本偏差为下偏差，且 EI=0。

极限偏差的计算：上偏差 ES=EI+IT6=0+25=+25 $\mu$ m (+0.025mm)，该公差标注还可以用  $\phi 32_0^{+0.025}$  mm 表示。

最大极限尺寸： $D_{\max} = D + ES = 32 + 0.025 = 32.025$ mm；

最小极限尺寸： $D_{\min} = D + EI = 32 + 0 = 32$ mm；

尺寸合格条件： $32\text{mm} \leq D_a \leq 32.025\text{mm}$ 。

**【例 5-4】** 装配图尺寸公差与配合标注读解—— $\phi 32\text{H}7/h6$ 。

解：孔轴基本尺寸为 32mm。

基准制：基孔制。

配合种类：公差带图如图 5-9 所示，可以判断是间隙配合。

最大间隙： $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei = 25 - (-16) = 41\mu\text{m}$ ；

最小间隙： $X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0 - 0 = 0$ ；

配合公差： $T_f = X_{\max} - X_{\min} = 41 - 0 = 41\mu\text{m}$ 。

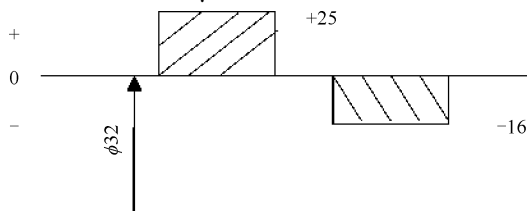


图 5-9 公差带图

## 5.1.5 公差与配合的选用

### 1. 基准制的选择

(1) 一般情况下，优先采用基孔制。

(2) 特殊情况下选择基轴制:

① 用冷拉钢制圆柱型材制作光轴作为基准轴。这一类圆柱型材的规格已标准化, 尺寸公差等级一般为 IT7~IT9。它作为基准轴, 轴径可以免去外圆的切削加工, 只要按照不同的配合性质来加工孔, 可实现技术与经济的最佳效果。

② 与标准件或标准部件配合(如键、销、轴承等), 应以标准件为基准件来确定用基孔制还是基轴制。

③ “一轴多孔”, 而且构成的多处配合的松紧程度要求不同的场合。

(3) 特殊情况可以采用非基准制。

国家标准规定: 为了满足配合的特殊需要, 允许采用非基准制配合, 即采用任一孔、轴公差带(基本偏差代号非 H 的孔或 h 的轴)组成的配合。

## 2. 公差等级的选择

### 1) 公差等级的选择原则

选择公差等级就是解决制造精度与制造成本之间的矛盾。在满足使用性能的前提下, 尽量选取较低的公差等级。

所谓“较低的公差等级”是指: 假如 IT7 级以上(含 IT7 级)的公差等级均能满足使用性能要求, 那么, 选择 IT7 级为宜, 它既保证使用性能, 又可获得最佳的经济效益。

### 2) 公差等级的选择方法

(1) 类比法(经验法)——就是参考经过实践证明合理的类似产品的公差等级, 将所设计的零件(机构、产品)的使用性能、工作条件、加工工艺装备等情况与之进行比较, 从而确定合理的公差等级。对初学者来说, 多采用类比法, 此法主要是通过查阅有关的参考资料、手册, 并进行分析比较后确定公差等级。类比法多用于一般要求的配合。

(2) 计算法——是指根据一定的理论和计算公式计算后, 再根据尺寸公差与配合的标准确定合理的公差等级。即根据工作条件和使用性能要求确定配合部位的间隙或过盈允许的界限, 然后通过计算法确定相配合的孔、轴的公差等级。计算法多用于重要的配合。

### 3) 确定公差等级应考虑的几个问题

(1) 一般的非配合尺寸要比配合尺寸的公差等级低。

(2) 遵守工艺等价原则。孔、轴的加工难易程度应相当, 在基本尺寸等于或小于 500mm 时, 孔比同级轴难加工, 孔比轴要低一级; 在基本尺寸大于 500mm 时, 孔、轴的公差等级相同。这一原则主要用于中、高精度(公差等级 $\leq$ IT8)的配合。

(3) 在满足配合要求的前提下, 孔、轴的公差等级可以任意组合, 不受工艺等价原则的限制。

(4) 与标准件配合的零件, 其公差等级由标准件的精度要求所决定。如与轴承配合的孔和轴, 其公差等级由轴承的精度等级来决定; 与齿轮孔相配的轴, 其配合部位的公差等级由齿轮的精度等级所决定。

(5) 用类比法确定公差等级时, 一定要查明各公差等级的应用范围和公差等级的选择实例, 表 5-7 和表 5-8 供参考。

表 5-7 公差等级的应用

[illegible]

表 5-8 公差等级的应用范围

公差等级	应 用
5 级	主要用在配合公差、形状公差要求甚小的地方，它的配合性质稳定，一般在仪表和医疗检测设备等重要部位应用
6 级	配合性质达到较高的均匀性，如与 E 级滚动轴承相配合的孔、轴径；与齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮等连接的轴径，丝杠轴径；6 级精度齿轮的基准孔，7、8 级精度齿轮基准轴径
7 级	7 级精度比 6 级稍低，应用条件与 6 级基本相似，在一般机械制造中应用较为普遍，如联轴器、带轮、凸轮等孔径；7、8 级齿轮基准孔，9、10 级齿轮基准轴
8 级	在医疗器械中属于中等精度
9 级 10 级	主要用于医疗设备中轴套外径与孔；操纵件与轴；空轴带轮与轴；单键与花键
11 级 12 级	配合精度很低，装配后可能产生很大间隙，适用于基本上没有什么配合要求的场合

(6) 在满足设计要求的前提下, 应尽量考虑工艺的可能性和经济性。各种加工方法所能达到的精度可参考表 5-9。

表 5-9 常用加工方法加工精度

加工\IT																				
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
研磨																				
圆磨																				
平磨																				
拉削																				
铰孔																				
粗车																				
粗镗																				
铣																				
刨、插																				
钻削																				
冲压																				



### 3. 配合的选择

#### 1) 配合选择的任务

当基准配合制和孔、轴公差等级确定之后,配合选择的任务是确定非基准件(基孔配合制中的轴或基轴配合制中的孔)的基本偏差代号。

#### 2) 配合选择的方法

配合选择的方法有类比法、计算法和试验法三种。

(1) 类比法——同公差等级的选择相似,大多通过查表将所设计的配合部位的工作条件和功能要求与相同或相似的工作条件或功能要求的配合部位进行分析比较,对于已成功的配合做适当的调整,从而确定配合代号。此选择方法主要应用在一般、常见的配合中。

(2) 计算法——主要用于两种情况:一是用于保证与滑动轴承的间隙配合,当要求保证液体摩擦时,可以根据滑动摩擦理论计算允许的最小间隙,从而选定适当的配合;二是完全依靠装配过盈传递负荷的过盈配合,可以根据要求传递负荷的大小计算允许的最小过盈量,再根据孔、轴材料的弹性极限计算允许的最大过盈量,从而选定适当的配合。

(3) 试验法——主要用于新产品和特别重要配合的选择。这些部位的配合选择需要进行专门的模拟试验,以确定工作条件要求的最佳间隙或过盈及其允许变动的范围,然后确定配合性质。这种方法只要实验设计合理、数据可靠,选用结果就比较理想,但成本较高。

#### 3) 配合选择的步骤

采用类比法选择配合时,可以按照下列步骤进行。

(1) 确定配合的类型。根据配合部位的功能要求,确定配合的类型。

① 间隙配合。间隙配合有 A~H (a~h) 共 11 种,其特点是利用间隙储存润滑油及补偿温度变形、安装误差、弹性变形等所引起的误差。生产中应用广泛,不仅用于运动配合,加紧固件后也可用于传递力矩。不同基本偏差代号与基准孔(或基准轴)分别形成不同间隙的配合。主要依据变形、误差需要补偿间隙的大小、相对运动速度、是否要求定心或拆卸来选定。

② 过渡配合。过渡配合有 JS~N (js~n) 四种基本偏差,其主要特点是定心精度高且可拆卸。也可加键、销紧固件后用于传递力矩,主要根据机构受力情况、定心精度和要求装拆次数来考虑基本偏差的选择。定心要求高、受冲击负荷、不常拆卸的,可选较紧的基本偏差,如 N (n),反之应选较松的配合,如 K (k) 或 JS (js)。

③ 过盈配合。过盈配合有 P~ZC (p~zc) 13 种基本偏差,其特点是由于有过盈,装配后孔的尺寸被胀大而轴的尺寸被压小,产生弹性变形,在结合面上产生一定的正压力和摩擦力,用以传递力矩和紧固零件。选择过盈配合时,如不加键、销等紧固件,则最小过盈量应能保证传递所需的力矩,最大过盈量应不使材料破坏,故配合公差不能太大,所以公差等级一般为 IT5~IT7 级。基本偏差根据最小过盈量及结合件的标准来选取。

功能要求及对应的配合类型见表 5-10,可按表中的情况进行选择。

(2) 确定非基准件的基本偏差代号。根据配合部位具体的功能要求,通过查表,比照配合的应用实例,参考各种配合的性能特征,选择较合适的配合,即确定非基准件的基本偏差代号。轴的基本偏差的具体选用可参考表 5-11,基孔制常用和优先配合的特征及应用可参考表 5-12。

表 5-10 配合类型应用范围

结合件的工作情况				配合类型
有相对运动	只有移动			间隙较小的间隙配合
	转动或与移动的复合运动			间隙较大的间隙配合
无相对运动	传递扭矩	要求精确	永久结合	过盈配合
		同轴	可拆结合	过渡配合或间隙最小的间隙配合加紧固件
		不需要精确同轴		间隙较小的间隙配合加紧固件
	不传递扭矩			过渡配合或过盈小的过盈配合

注：紧固件指键、销钉和螺钉等。

表 5-11 轴的基本偏差选用说明及应用

配合	基本偏差	特性及应用
间隙配合	a、b	可得到特别大的间隙，应用很少
	c	可得到很大间隙，一般适用于缓慢、松弛的动配合。用于工作条件较差的受力变形，或为了便于装配，而必须保证有较大的间隙时，推荐配合为 H11/c11。其较高等级的配合，如 H8/c7 适用于轴在高温工作的紧密配合
	d	一般用于 IT7~IT11 级，适用于松的转动配合，如密封盖、滑轮、空带轮等与轴的配合，也适用于大直径滑动轴承的配合
	e	多用于 IT7~IT9 级，通常用于要求有明显间隙，易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴也适用于大的、高速、重载的支承
	f	多用于 IT6~IT8 级的一般转动配合，当温度影响不太大时，被广泛用于普通润滑油（或润滑脂）润滑的支承，如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动轴承的配合
	g	配合间隙很小，制造成本很高，除了很轻负荷的精密机构外，一般不用作转动配合。多用于 IT5~IT7 级，最适合不回转的精密滑动轴承，也用于插销等定位配合，如精密连杆轴承、连杆销、分度头轴颈与轴的配合等。例如，钻套与衬套的配合为 H7/g6
间隙配合	h	配合的最小间隙为零，用于 IT4~IT11 级。广泛用于无相对转动的零件，作为一般定位配合。若无温度、变形影响，也用于精密滑动配合
过渡配合	js	平均起来为稍有间隙的配合，多用于 IT4~IT7 级，要求间隙比 h 轴小，并允许稍有过盈的定位配合，如联轴器，可用手或木锤装配
	k	平均起来没有间隙的配合，适用于 IT4~IT7 级，推荐用于稍有过盈的定位配合，如为了消除振动用的定位配合，一般用木锤装配
	m	平均起来具有不大过盈的过渡配合，适用于 IT4~IT7 级，用于精密定位的配合，如蜗轮的青铜轮缘与轮毂的配合为 H7/m6。一般可用木锤装配，但在最大过盈时，要求有相当大的压入力
	n	平均过盈比 m 轴稍大，适用于 IT4~IT7 级，用锤或压力机装配，拆卸较困难
过盈配合	p	与 H6 或 H7 孔配合时是过盈配合，与 H8 孔配合时为过渡配合。对非铁制零件，为较轻的压入配合，当需要时易于拆卸。对钢、铸铁或铜、钢组件装配是标准压入配合。它主要用于定心精度很高、零件有足够的刚性、受冲击负荷的定位配合
	r	对铁制零件，为中等打入配合，对非铁制零件，为轻打入配合，当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合，直径在 100mm 以上时为过盈配合，直径小时为过渡配合
	s	用于钢铁件的永久或半永久结合，可产生相当大的结合力。当用弹性材料，如轻合金时，配合性质与铁制零件的 p 轴相当。尺寸较大时，需用热胀或冷缩法装配
	t、u、v x、y、z	过盈量依次增大，一般不推荐，如联轴器与轴的配合 H7/t6

表 5-12 尺寸 $\leq 500\text{mm}$  基孔制常用和优先配合的特征及应用

配合类别	配合代号	应 用
间隙配合	H11/c11	间隙非常大, 用于很松的、转动很慢的动配合; 要求大公差与大间隙的外露组件; 要求装配方便的很松的配合
	H9/d9	间隙很大的自由转动配合, 用于精度非主要要求时, 或有大的温度变化、高转速或大的轴颈压力时的配合
	H8/f7	间隙不大的转动配合, 用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动; 也用于装配容易的中等定位配合
	H7/g6	间隙很小的滑动配合, 用于不希望自由转动, 但可自由移动和滑动并精密定位的配合; 也可用于要求明确的定位配合
	H7/h6、H8/h7、H9/h9	均为间隙定位配合, 零件可自由装拆, 而工作时一般相对静止不动。在最大实体条件下的间隙为零, 在最小实体条件下的间隙由公差等级决定
过渡配合	H7/k6	用于精密定位配合
	H7/n6	允许有较大过盈量的更精密定位配合
过盈配合	H7/p6	过盈定位配合, 用于定位精度特别重要时, 能以最好的定位精度达到部件的刚性及对中性要求, 而对内孔承受压力无特殊要求, 不依靠配合的紧固性传递摩擦负荷的配合
	H7/s6	中等压入配合, 适用于一般钢件, 或用于薄壁件的冷缩配合, 用于铸铁件可得到最紧的配合
	H7/u6	压入配合, 适用于可以承受高压入力的零件, 或不易承受大压入力的冷缩配合

(3) 配合选择的注意事项。按大批大量生产时, 加工后所得的尺寸通常呈正态分布; 而单件小批量生产时, 加工所得的孔的尺寸多偏向最小极限尺寸, 轴的尺寸多偏向最大极限尺寸, 即呈偏态分布。所以, 对于同一使用要求, 单件小批生产时采用的配合应比大批大量生产时要松一些。如大批大量生产时按照  $\phi 50\text{H}7/\text{js}6$  的要求, 在单件小批生产时应选择  $\phi 50\text{H}7/\text{h}6$ 。

**【例 5-5】** 已知孔、轴基本尺寸  $\phi 25\text{mm}$ , 间隙  $0.010 \sim 0.045\text{mm}$ , 试确定孔、轴的公差等级和公差带及配合代号。

**解:** (1) 选择基准制: 基孔制。

(2) 选择公差等级: 由给定条件知, 此孔、轴配合为间隙配合, 要求的配合公差为

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_h + T_s = (0.045 - 0.010)\text{mm} = 0.035\text{mm} = 35\mu\text{m}$$

即所选的孔、轴公差之和应最接近而又不大于  $35\mu\text{m}$ 。

假设孔与轴为同级配合, 则  $T_h = T_s = T_f/2 = 0.0175\text{mm} = 17.5\mu\text{m}$ 。

查表 5-1,  $\text{IT}7 = 21\mu\text{m}$ ,  $\text{IT}6 = 13\mu\text{m}$ , 故孔与轴的公差等级介于  $\text{IT}6$  与  $\text{IT}7$  之间, 一般取孔比轴大一级, 即孔  $\text{IT}7 = 21\mu\text{m}$ , 轴  $\text{IT}6 = 13\mu\text{m}$ , 则配合公差

$$T_f = T_h + T_s = (21 + 13)\mu\text{m} = 34\mu\text{m} < 35\mu\text{m}$$

(3) 确定孔、轴公差带: 因为是基孔制配合, 且孔的标准公差为  $\text{IT}7$ , 所以孔的公差带为  $\phi 25\text{H}7(^{+0.021}_0)$ 。又因为  $X_{\min} = \text{EI} - \text{es}$ , 且  $\text{EI} = 0$ , 所以  $\text{es} = -X_{\min}$ 。

本题要求最小间隙为  $0.01\text{mm}$  ( $10\mu\text{m}$ ), 即轴的基本偏差应接近于  $-10\mu\text{m}$ 。

查轴的基本偏差数值表, 取轴的基本偏差为  $g$ ,  $\text{es} = -7\mu\text{m}$ , 则  $\text{ei} = \text{es} - \text{IT}6 = (-7 - 13)\mu\text{m} = -20\mu\text{m}$ , 所以轴的公差带为  $\phi 25g6(^{0.007}_{-0.020})$ 。

(4) 验算设计结果: 孔、轴配合为  $\phi 25\text{H}7/g6$ 。

最大间隙:  $X_{\max} = \text{ES} - \text{ei} = 41\mu\text{m}$ ;

最小间隙:  $X_{\min} = \text{EI} - \text{es} = 7\mu\text{m}$ 。

故间隙在 0.010~0.045mm 之间, 设计结果满足使用要求。

## 5.1.6 尺寸公差与配合在图样中的标注

(1) 零件图中的标注形式如图 5-10 所示。

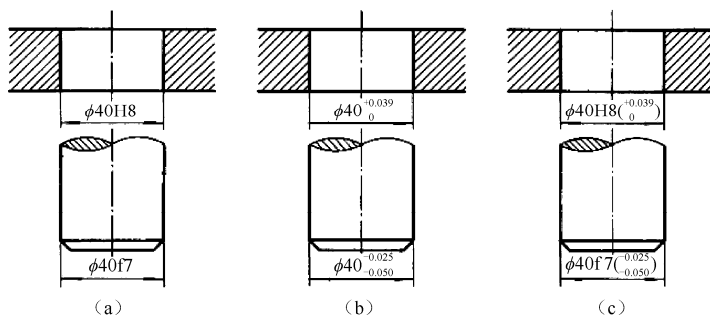


图 5-10 尺寸公差与配合在零件图中的标注实例

(2) 在装配图中配合尺寸的标注如图 5-11 所示。

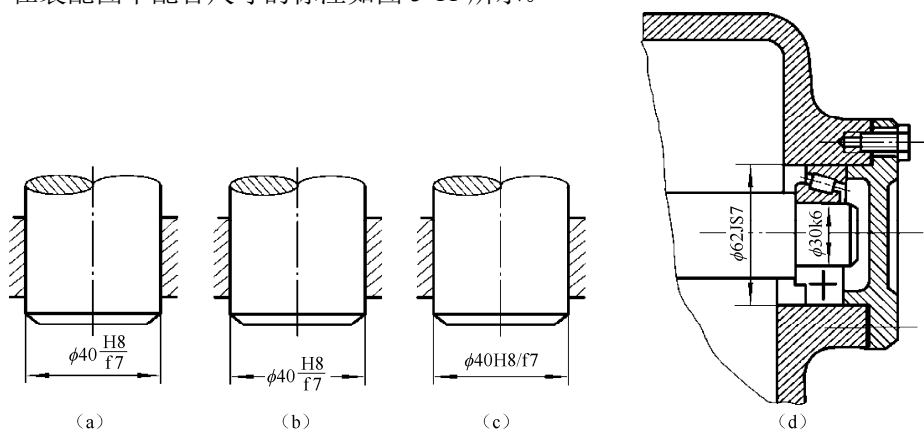


图 5-11 尺寸公差与配合在装配图中的标注实例

## 5.2 形状与位置精度

加工后的零件不仅有尺寸误差, 而且构成零件几何特征的点、线、面的实际形状或相互位置与理想几何体规定的形状和相互位置还不可避免地存在差异, 这种形状上的差异就是形状误差, 而相互位置的差异就是位置误差, 统称为形位误差。

### 5.2.1 形状与位置精度的基本概念

#### 1. 几何要素

构成零件几何特征的点、线、面统称为几何要素 (简称要素)。

2. 理想要素与实际要素

- (1) 理想要素——具有几何意义的要素。
- (2) 实际要素——零件上实际存在的要素，即加工后得到的要素。

3. 轮廓要素与中心要素（按结构特征分）

- (1) 轮廓要素——组成轮廓的点、线、面。
- (2) 中心要素——与轮廓要素有对称关系的点、线、面。

4. 被测要素与基准要素（按检测关系分）

- (1) 被测要素——给出了形状或（和）位置公差的要素，即需要研究和测量的要素。
- (2) 基准要素——用来确定被测要素方向或（和）位置的要素。理想的基准要素称为基准。

5. 单一要素和关联要素（按功能要求分）

- (1) 单一要素——仅对要素本身给出形状公差要求的要素。
- (2) 关联要素——对其他要素有功能关系的要素。

6. 基准

基准是确定被测要素的方向、位置的参考对象。

- (1) 单一基准——由一个要素建立的基准称为单一基准。
- (2) 组合基准（公共基准）——由两个或两个以上的要素所建立的一个独立基准称为组合基准或公共基准。

7. 形位公差符号

形位公差分为形状公差（6 项）和位置公差（8 项），位置公差又分为定向公差（3 项）、定位公差（3 项）和跳动公差（2 项），如表 5-13 所示。

表 5-13 形位公差符号表

分 类	特 征 项 目	符 号	分 类		特 征 项 目	符 号
形状公差	直线度	—	位置公差	定向	平行度	//
	平面度				垂直度	
	圆度				倾斜度	
	圆柱度			定位	同轴度	
	线轮廓度				对称度	
	面轮廓度				位置度	
跳动				圆跳动		
	全跳动					

## 5.2.2 形状公差

形状公差是指单一实际要素的形状所允许的变动全量。

形状公差带是限制单一实际被测要素变动的区域，零件实际要素在该区域内为合格。

### 1. 直线度

直线度公差是实际直线对理想直线的允许变动量，限制了加工面或线在某个方向上的偏差。如果直线度超差，则有可能导致该工件安装时无法准确装入工艺文件规定的位置。

标注释义：被测表面投影后为一接近直线的“波浪线”（如图 5-12 所示），该“波浪线”的变化范围应该在距离为公差值  $t$  ( $t=0.1\text{mm}$ ) 的两平行直线之间。

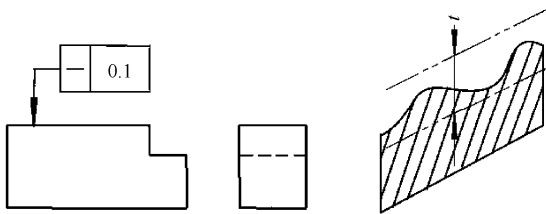


图 5-12 直线度标注及含义

### 2. 平面度

平面度表示面的平整程度，指测量平面具有的宏观凹凸高度相对理想平面的偏差。一般来讲，有平面度要求的就不必有直线度要求了，因为平面度包括了面上各个方向的直线度。

标注释义：被测加工表面必须位于距离为公差值  $t$  ( $t=0.1\text{mm}$ ) 的两平行平面内，如图 5-13 所示。

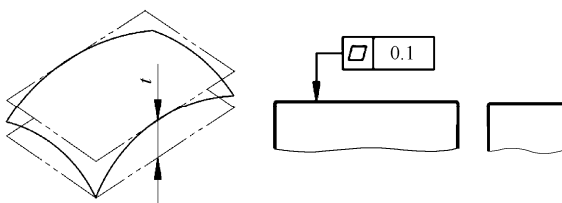


图 5-13 平面度标注及含义

### 3. 圆度

圆度是指工件横截面接近理论圆的程度，工件加工后的投影圆应在圆度要求的公差范围之内。

标注释义：被测圆柱面的任意截面的圆周必须位于半径差为公差值  $t$  ( $t=0.02\text{mm}$ ) 的两同心圆之内，如图 5-14 所示。

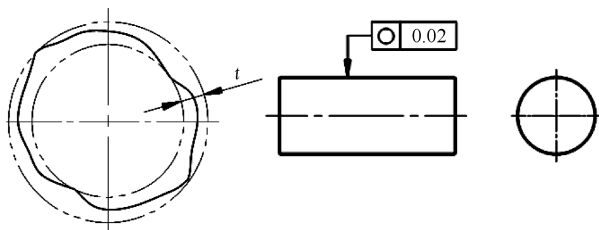


图 5-14 圆度标注及含义

#### 4. 圆柱度

圆柱度是限制实际圆柱面对理想圆柱面变动量的一项指标。它控制了圆柱体横截面和轴截面内的各项形状误差，如圆度、素线直线度、轴线直线度等。圆柱度是圆柱体各项形状误差的综合指标。

标注释义：被测圆柱面必须位于半径差为公差值  $t$  ( $t=0.02\text{mm}$ ) 的两同轴圆柱面之间，如图 5-15 所示。

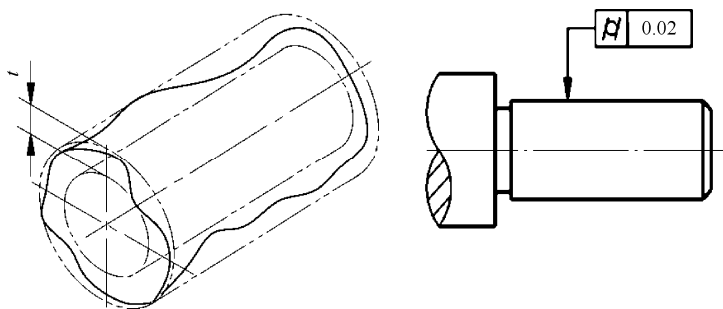


图 5-15 圆柱度标注及含义

圆柱度和圆度的区别在于圆柱度是相对于整个圆柱面而言的，圆度是相对于圆柱面截面的单个圆而言的，圆柱度包括圆度，控制好了圆柱度也就能保证圆度，但反过来不行。

### 5.2.3 位置公差

位置公差是指关联实际要素的位置对基准所允许的变动量。

位置公差带是限制关联实际要素变动的区域，被测实际要素位于此区域内为合格，区域的大小由公差值决定。

#### 1. 定向公差

定向公差是指关联实际要素对基准在方向上允许的变动量，包括平行度、垂直度和倾斜度三项。定向公差带相对基准有确定的方向，而其位置往往是浮动的。定向公差带具有综合控制被测要素的方向和形状的功能。因此在保证功能要求的前提下，若规定了定向公差的要素，则一般不再规定形状公差，只有需要对该要素的形状有进一步要求时，才可同时给出形状公差，但其公差数值应小于定向公差值。

### 1) 平行度

平行度指两平面或者两直线平行的程度，即其中一平面（边）相对于另一平面（边）平行的误差最大允许值。

标注释义：被测轴线必须位于距离为公差值  $t$  ( $t=0.05\text{mm}$ )，且在给定方向上平行于基准平面的两平行平面之间。

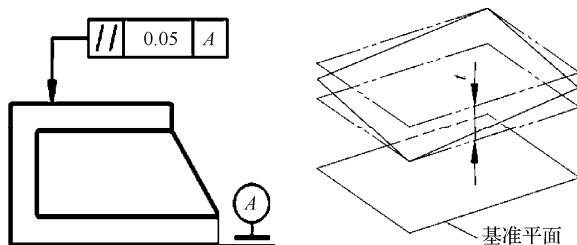


图 5-16 平行度标注及含义

### 2) 垂直度

用于评价直线之间、平面之间或平面与直线之间的垂直状态，公差带为垂直于基准线（面）的两个平行平面之间的区域。

标注释义：被测圆柱的轴线必须位于直径为公差值  $t$  ( $t=0.05\text{mm}$ )，且垂直于基准面  $A$  的圆柱体内，其公差带是直径为公差值  $t$ ，且垂直于基准面的圆柱体内部区域，如图 5-17 所示。

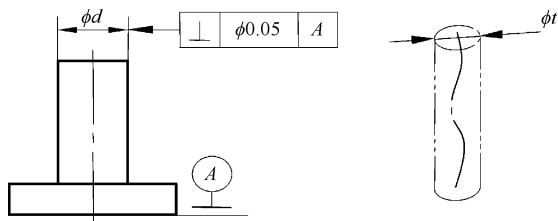


图 5-17 垂直度标注及含义

### 3) 倾斜度

倾斜度用来控制零件上被测要素（平面或直线）相对于基准要素（平面或直线）的方向偏离某一给定角度 ( $0^\circ \sim 90^\circ$ ) 的程度，即要求被测要素对基准呈一定角度（除  $90^\circ$  外）。

标注释义：被测平面必须位于距离为公差值  $t$  ( $t=0.06\text{mm}$ )，且与  $B$  基准轴线成理论正确角度  $\alpha$  ( $\alpha=60^\circ$ ) 的两平行平面之间，即如图 5-18 所示两平行平面之间的区域。

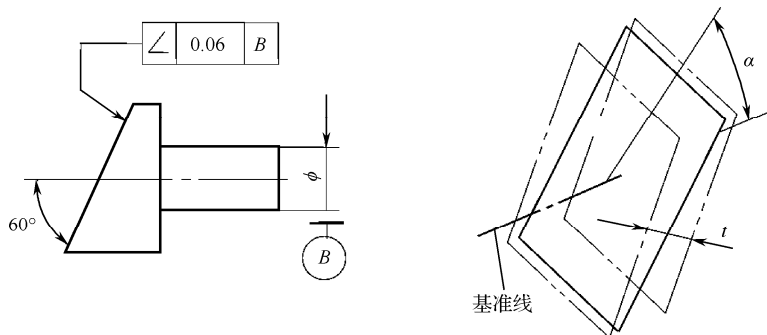


图 5-18 倾斜度标注及含义



## 2. 定位公差

定位公差是关联实际要素对基准在位置上允许的变动量,包括同轴度、对称度和位置度三项。定位公差带具有综合控制被测要素位置、方向和形状的功能。在满足使用要求的前提下,对被测要素给出定位公差后,通常对该要素不再给出定向公差和形状公差。如果需要对方向和形状有进一步要求,则可另行给出定向或形状公差,但其数值应小于定位公差值。

### 1) 同轴度

同轴度指工件要求的轴线偏离基准线所在直线的程度,即理论上应在同一直线上的两根轴线,它们发生了偏离,规定该偏离的最大值为  $t/2$ 。

标注释义:图中有同轴度要求的大圆的轴线必须位于以公共基准轴线  $A-B$  为轴线,以公差值  $t$  ( $t=0.1\text{mm}$ ) 为直径的圆柱内,如图 5-19 所示。

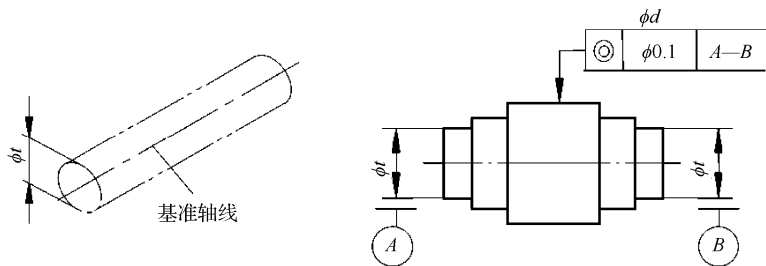


图 5-19 同轴度标注及含义

### 2) 对称度

对称度指加工两表面的中心平面偏离基准的程度,即要求的对称中心与实际对称中心保持在同一平面内的状况。

标注释义:图中对称度图标所要表示的面为两加工面的中心平面,该中心平面必须位于距离为公差值  $0.1\text{mm}$ ,且相对于基准中心平面  $A$  对称分布的两平行平面之间。

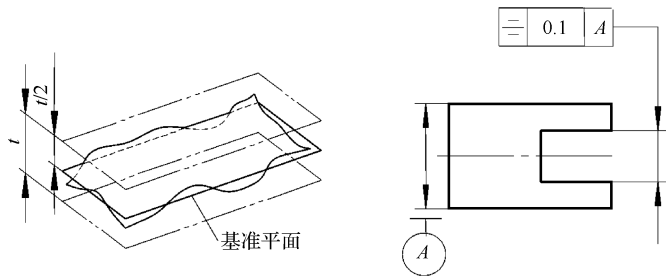


图 5-20 对称度标注及含义

### 3) 位置度

位置度用于形容测量点或线与其理论所在位置的偏差,公差带即为该偏差的大小。

标注释义:左图中表示位置度的箭头所指孔在轴线位置必须位于以公差值  $0.1\text{mm}$  为直径的圆柱体内,该圆柱体的轴线位于相对基准  $A$ 、 $B$ 、 $C$  所确定的点的理想位置上,如图 5-21 所示。

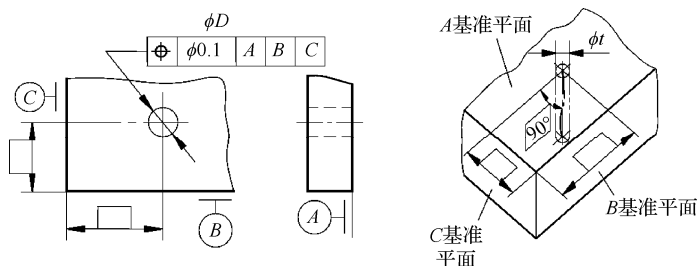


图 5-21 位置度标注及含义

### 3. 跳动公差

跳动公差是关联实际要素绕基准轴线回转一周或连续回转时所允许的最大跳动量。被测要素为圆柱面、端平面和圆锥面等轮廓要素，基准要素为轴线。跳动是指实际被测要素在无轴向移动的条件下绕基准轴线回转的过程中（回转一周或连续回转），由指示计在给定的测量方向上对该实际被测要素测得的最大与最小示值之差。

#### 1) 圆跳动

圆跳动指工件绕基准旋转一周，测量器具在固定位置的显示值的变动范围。

(1) 径向圆跳动。公差带是在垂直于基准轴线的任一测量平面内，半径为公差值  $t$ ，且圆心在基准轴线上的两个同心圆之间的区域。

标注释义：当被测圆柱表面绕基准线  $A$  旋转一周时，圆柱表面任一截面圆的径向跳动量均不得大于  $t$  ( $t=0.1\text{mm}$ )，如图 5-22 所示。

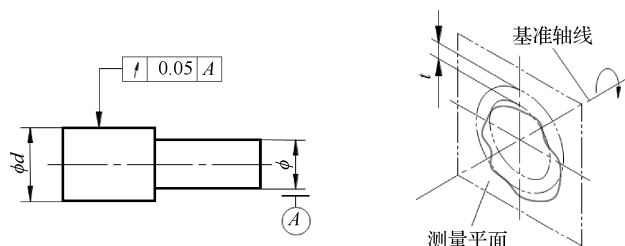


图 5-22 径向圆跳动标注及含义

(2) 端面圆跳动。公差带是在与基准轴线同轴的任一半径位置的测量圆柱面上沿母线方向距离为公差值  $t$  的两圆之间的区域。

标注释义：被测端面绕基准  $A$ （图中零件的轴线）旋转一周时，端面的任一点的轴向跳动量均不得大于  $0.1\text{mm}$ ，如图 5-23 所示，端面的移动范围必须在相距为  $t$  ( $t=0.05\text{mm}$ ) 的两面之间。

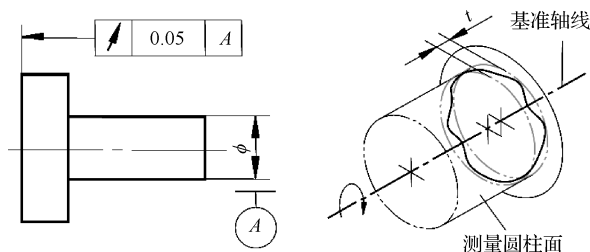


图 5-23 端面圆跳动标注及含义

径向圆跳动与端面圆跳动的区别在于径向圆跳动测量的是圆柱外表面随圆柱绕基准的转动产生的径向跳动,而端面圆跳动测量的是圆柱的端面产生的轴向跳动。

## 2) 全跳动

全跳动是指整个被测要素相对于基准轴线的变动量。全跳动分为径向全跳动和端面全跳动。

(1) 径向全跳动。公差带是半径差为公差值  $t$ , 且与基准轴线同轴的两圆柱面之间的区域。

标注释义: 被测表面绕基准轴线做无轴向移动的连续回转, 同时, 指示器做平行于基准轴线的直线移动, 在整个被测表面上的跳动量不得大于公差值  $0.2\text{mm}$ , 如图 5-24 所示。

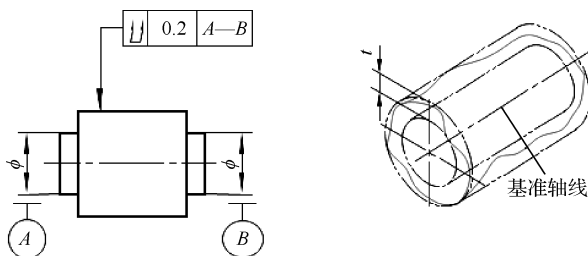


图 5-24 径向全跳动标注及含义

(2) 端面全跳动。公差带是距离为公差值  $t$ , 且与基准轴线垂直的两平行平面之间的区域。

标注释义: 被测端面绕基准轴线做无轴向移动的连续回转, 同时, 指示器做垂直于基准轴线的直线移动, 在端面上任意一点的轴向跳动量不得大于  $0.05\text{mm}$ , 如图 5-25 所示。

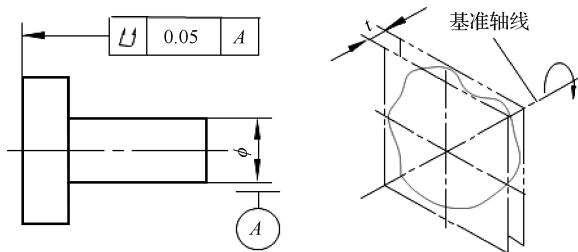


图 5-25 端面全跳动标注及含义

## 5.3 表面精度

### 5.3.1 表面精度的基本概念

#### 1. 表面粗糙度定义

经过加工的零件表面, 总会出现一些宏观和微观上的几何形状误差, 零件表面上的微观几何形状误差是由零件表面上一系列微小间距的峰谷所形成的, 这些微小峰谷高低起伏的程度就叫零件的表面粗糙度。

## 2. 表面粗糙度的影响

表面粗糙度是衡量零件表面加工精度的一项重要指标,零件表面粗糙度的高低将影响两配合零件有接触表面的摩擦、运动面的磨损、贴合面的密封、配合面的工作精度、旋转件的疲劳强度、零件的美观等,甚至对零件表面的抗腐蚀性都有影响。

### 5.3.2 表面粗糙度的符号、代号及标注

#### 1. 表面粗糙度符号

按 GB/T 131—1993,在图样上表示表面粗糙度的符号有五种,如表 5-14 所示。

表 5-14 表面粗糙度符号

符 号	意 义 说 明
	基本符号,可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明时,仅适用于简化代号标注
	基本符号加一短画,表示表面是用去除材料的方法获得的,如车、铣、钻、磨、电加工等
	基本符号加一小圆,表示表面是用不去除材料的方法获得的,如铸、锻、冲压变形、热轧、粉末冶金等或用于保持原供应状况的表面(包括保持上道工序的状况)
	在上述三个符号的长边上均可加一横线,用于标注有关参数和说明
	在上述三个符号上均可加一小圆,表示所有表面具有相同的表面粗糙度要求

#### 2. 表面粗糙度代号

在表面粗糙度符号中,要求注写上若干必要的表面特征规定,其表面特征各项规定的注写位置如图 5-26 所示。

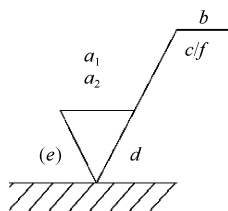


图 5-26 表面粗糙度代号

其中,  $a_1$ 、 $a_2$ ——粗糙度幅度参数代号及其数值 (mm);  
 $b$ ——加工要求、镀覆、涂覆、表面处理或其他说明等;  
 $c$ ——取样长度 (mm) 或波纹度 (mm);  
 $d$ ——加工纹理方向符号;  
 $e$ ——加工余量 (mm);  
 $f$ ——粗糙度间距参数值 (mm)。

3. 表面粗糙度的标注

在图样上标注表面粗糙度符号、代号时，一般应将其标注在可见轮廓线、尺寸界线、引出线或它们的延长线上。符号的尖端必须从材料外指向被注表面。

1) 表面粗糙度参数值的选用原则

首先满足功能要求，其次是考虑经济性及工艺性。在满足功能要求的前提下，参数的允许值应尽可能大些。

(1) 同一零件上，工作表面的粗糙度参数值小于非工作表面的粗糙度参数值。

(2) 摩擦表面比非摩擦表面的粗糙度参数值要小。

(3) 受循环载荷的表面及易引起应力集中的部分（如圆角、沟槽），表面粗糙度参数值要小。

(4) 配合性质要求高的结合表面，都应取较小的粗糙度参数值。

(5) 配合性质相同，零件尺寸越小则表面粗糙度参数值应越小；同一精度等级，小尺寸比大尺寸、轴比孔的表面粗糙度参数值要小。

2) 表面粗糙度评定参数

表面粗糙度的评定参数用来定量描述零件表面微观几何形状特征。一般情况下用轮廓算术平均偏差  $Ra$  表示。 $Ra$  常用取值及意义见表 5-15。



表 5-15  $Ra$  常用取值及意义

12.5	可见刀痕	粗车、刨、钻、铣	一般非结合表面，如轴的端面、倒角、齿轮及带轮的侧面、键槽的非工作表面、减重孔眼表面等
6.3	可见加工痕迹	车、镗、刨、钻、铣、磨、锉、粗铰、铣齿	不重要的非配合表面，如支柱、支架、外壳、衬套、轴、盖等的端面；紧固件的自由表面、紧固件通孔的表面
3.2	微见加工痕迹	车、镗、刨、铣、铰、拉、磨、滚压、刮 1~2 点/cm <sup>2</sup> 、铣齿	与其他零件连接不形成配合的表面，如箱体、外壳、端盖等零件的端面；要求有定心及配合特性的固定支承面
1.6	看不清加工痕迹	车、镗、拉、磨、铣、铰、刮 1~2 点/cm <sup>2</sup> 、磨、滚压	安装直径超过 80mm 的 G 级轴承的外壳孔、普通精度齿轮的齿面、定位销孔、V 带轮的表面、轴承盖的定中心凸肩表面等
0.8	可辨加工痕迹的方向	车、磨、立铣、刮 3~10 点/cm <sup>2</sup> 、镗、拉、滚压	要求保证定心及配合特性的表面，如锥销与圆柱销的表面，与 G 级精度滚动轴承相配合的轴颈和外壳孔，中速转动的轴颈，直径超过 80mm 的 E、D 级滚动轴承配合的轴颈及外壳孔，内、外花键的定心内径，外花键键侧及定心外径，过盈配合 IT7 级的孔，间隙配合 IT8~IT9 级的孔，磨削的齿轮表面等









3) 表面粗糙度的标注及意义

表面粗糙度的常见标注及意义如表 5-16 所示。

表 5-16 表面粗糙度的常见标注及意义

代 号	意 义	代 号	意 义
	用任何方法获得的表面粗糙度， $Ra$ 的上限值为 3.2 $\mu\text{m}$		用任何方法获得的表面粗糙度， $Ra$ 的最大值为 3.2 $\mu\text{m}$

续表

代 号	意 义	代 号	意 义
	用去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$		用去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
	用不去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$		用不去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
	用去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ , 下限值为 $1.6\mu\text{m}$		用去除材料方法获得的表面粗糙度, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$ , 最小值为 $1.6\mu\text{m}$
	用任何方法获得的表面粗糙度, $R_z$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$		用任何方法获得的表面粗糙度, $R_z$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$

## 复习与思考

1. 求下列各种孔、轴配合的基本尺寸、上偏差、下偏差、公差、最大极限尺寸、最小极限尺寸、最大间隙、最小间隙（或过盈），各种孔、轴配合属于何种配合？求出配合公差，并画出各种配合及配合公差带图（单位为 mm）。

(1) 孔  $\phi 25^{+0.021}_0$  mm 与轴  $\phi 25^{-0.020}_{-0.033}$  mm 相配合；

(2) 孔  $\phi 25^{+0.021}_0$  mm 与轴  $\phi 25^{+0.041}_{+0.028}$  mm 相配合。

2. 使用标准公差与基本偏差表，查出下列公差带的上、下偏差。

(1)  $\phi 32d9$       (2)  $\phi 80p6$       (3)  $\phi 20v7$       (4)  $\phi 170h11$

(5)  $\phi 28k7$       (6)  $\phi 280m6$       (7)  $\phi 40C11$       (8)  $\phi 140M8$

(9)  $\phi 25Z6$       (10)  $\phi 30js6$       (11)  $\phi 35P7$       (12)  $\phi 60J6$

3. 有一孔、轴配合的基本尺寸为  $\phi 50\text{mm}$ ，要求配合间隙在  $+0.020 \sim +0.060\text{mm}$  之间，试确定孔和轴的精度等级和配合种类。

4. 按下列要求在图 5-27 上标出形位公差代号。

(1)  $\phi 50\text{mm}$  圆柱面素线的直线度公差值为  $0.02\text{mm}$ ；

(2)  $\phi 30\text{mm}$  圆柱面的圆柱度公差值为  $0.05\text{mm}$ ；

(3) 整个零件的轴线必须位于直径为  $0.04\text{mm}$  的圆柱面内。

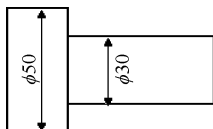


图 5-27 题 4 用图

5. 说明图 5-28 中形位公差代号标注的含义。

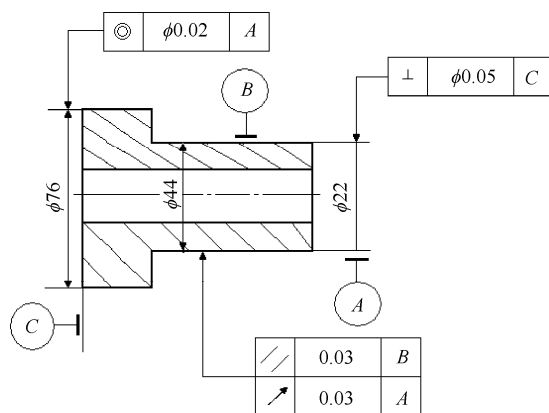
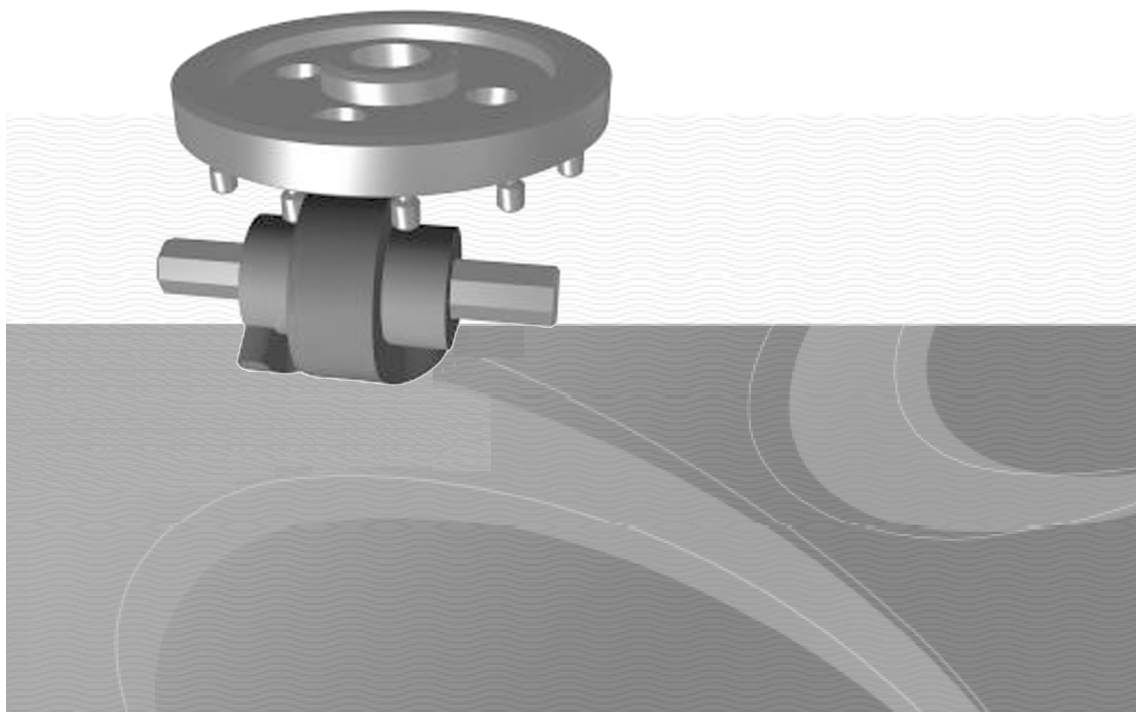


图 5-28 题 5 用图

# 第二篇

## 医疗器械产品的 机构设计

机构设计是医疗器械产品设计过程中重要的内容。机构设计需要从产品预定实现的功能和性能指标出发，通过分析、计算、构画机构运动简图等一系列步骤，初步确定产品工作原理、机构类型和机械传动方案，以便进行后续的系统设计；由于医疗器械产品本身的使用特点，即通常由医务人员操作，应用对象是病人，安全性是需要特别注意的方面；此外，医疗器械产品的结构简洁、耐消毒措施、便携性要求等，也需要从传动机构设计和材料选择两方面加以着重考虑。本篇围绕以上医疗器械产品设计中涉及的基础性问题，从机构设计基本概念、常用的机械传动机构、常用工程材料的选择、通用标准零部件的匹配等方面进行介绍。





## 第 6 章

# 医疗器械产品机构设计基础

医疗器械产品机构设计是一门研究医疗设备常用机构、通用零件与部件的基本设计理论和方法的课程，是医疗器械工程专业的主干课程。本章主要介绍机构设计的基本概念与要求、机构具有确定相对运动的分析方法、机构运动过程中的速度变化规律和机构运动简图的绘制方法。

### 6.1 机构设计基本概念

#### 6.1.1 机构组成

现代医疗设备一般包括五个子系统，如图 6-1 所示。动力系统：把其他形式的能量转化成机械能，以驱动机器各部件运动等；传动系统：将原动机的运动和动力传递给执行部分的中间环节；执行系统：直接完成机器工作任务的部分，处于整个传动装置的终端，其结构形式取决于设备的用途；控制系统：包括自动检测系统和自动控制系统，其作用是显示和反映设备的运行位置和状态，控制设备的正常运行和工作；辅助系统：如润滑、密封、照明、防护等辅助装置，用于保持机器的正常运行状态。

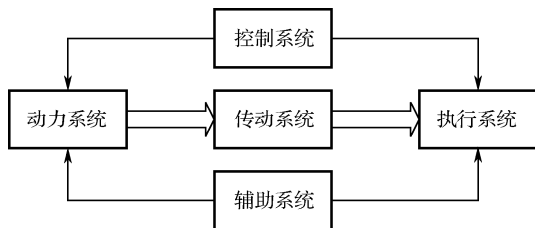


图 6-1 医疗设备组成框图

虽然医疗设备的种类繁多，构造、用途和功能也各不相同，但具有相同的基本特征：

- (1) 人为的实物（构件）组合体。
- (2) 各个运动实物之间具有确定的相对运动。
- (3) 代替减轻医护人员劳动，完成检验、治疗等有用功。

凡具备上述（1）、（2）两个特征的实物组合体称为机构。

医疗设备的主体由一个或若干个机构组成，通过不同机构的组合来实现特定的运动，机构是机器不可缺少的部分。

机构是由具有确定运动的单元体组成的，这些运动单元体称为构件。组成构件的制造单元体称为零件。零件则是指机器中不可拆的一个最基本的制造单元体。构件可以由一个或多个零件组成。

## 6.1.2 机构设计要求与流程

### 1. 医疗器械产品机构设计基本要求

医疗器械机构设计与常规机械设计有紧密的联系，设计过程可参考相关领域成熟的设计模式和技术方案。但医疗器械产品机构设计的要求与常规机械产品的设计要求也有一定的区别。医疗器械产品机构设计的基本要求是：

- (1) 合理制定医疗器械产品预定实现的功能和性能指标（如运动性能、动力性能、技术参数、外形结构等），正确选择设备的工作原理、机构类型和机械传动方案。
- (2) 从医护人员和患者两方面充分考虑医疗器械使用过程中的安全性要求，遵循相关可靠性和安全性标准及法律法规。
- (3) 满足经济性要求，采用先进工艺，合理选材，尽量实现三化（零件标准化、部件通用化、产品系列化），降低产品成本，提高市场竞争力。
- (4) 满足人机工程学要求，满足特定人群的使用需求。

### 2. 医疗器械产品机构设计的一般程序

#### 1) 提出和制定产品设计任务书

需求—确定功能指标—分析可能性—制定设计任务书（产品用途、技术经济指标、使用条件、设计承担者、设计周期）。

## 2) 总体方案设计

设计任务书—调查研究—工作原理—总体设计方案—论证可行性—绘制机构简图。

## 3) 技术设计

总体方案—确定结构尺寸（结构设计、工作能力计算）—画图。

零件设计—确定类型结构—受力分析—失效分析—选材—尺寸设计—结构建模。

装配体设计—对零部件进行装配—干涉检查—运动学分析。

工程图设计—装配体工程图—零件工程图。

# 6.2 运动副与运动简图

机构由构件组成，各构件之间具有确定的相对运动。然而，把构件任意拼凑起来不一定能运动；即使能够运动，也不一定具有确定的相对运动。那么构件应如何组合才能运动？在什么条件下才具有确定的相对运动？这对分析现有机构或创新机构很重要。

所有构件的运动平面都相互平行的机构称为平面机构，否则称为空间机构。本章仅讨论平面机构的情况，因为在生活和生产中，平面机构应用最多。

## 6.2.1 运动副的概念及分类

机构由若干个相互连接起来的构件组成。机构中两构件之间直接接触并能做相对运动的可动连接称为运动副，例如，轴与轴承之间的连接、活塞与汽缸之间的连接、凸轮与推杆之间的连接、两齿轮的齿和齿之间的连接等。

在平面运动副中，两构件之间的直接接触有三种情况：点接触、线接触和面接触。按照接触特性，通常把运动副分为低副和高副两类。

### 1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副称为低副。根据两构件间的相对运动形式，低副又分为移动副和转动副。两构件间的相对运动为直线运动的，称为移动副，如图 6-2 所示；两构件间的相对运动为转动的，称为转动副或称为铰链副，如图 6-3 所示。

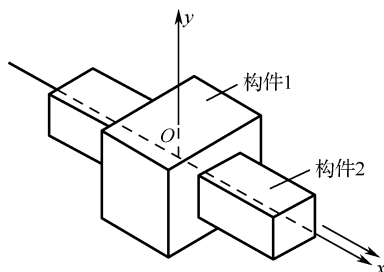


图 6-2 移动副

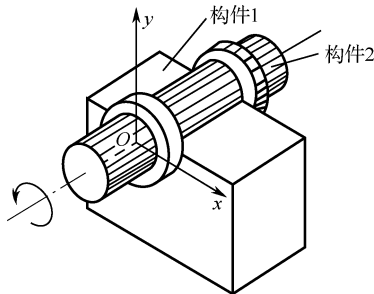


图 6-3 转动副

## 2. 高副

两构件通过点或线接触构成的运动副称为高副。如图 6-4 中的凸轮与尖顶推杆构成高副，如图 6-5 中的两齿轮轮齿啮合处也构成高副。

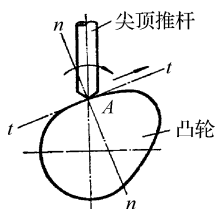


图 6-4 凸轮高副

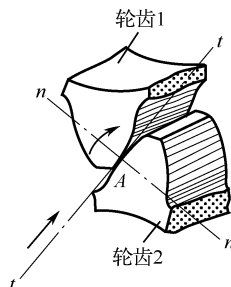


图 6-5 齿轮高副

低副因通过面接触而构成运动副，故其接触处的压强小，承载能力大，耐磨损，寿命长，且因其形状简单，所以容易制造。低副的两构件之间只能做相对滑动；而高副的两构件之间则可做相对滑动或滚动，或两者并存。

## 6.2.2 平面机构运动简图

### 1. 机构运动简图的定义

为了便于分析，人们不考虑机器的复杂外形和结构，仅用规定的线条和符号按一定的比例表示构件的尺寸和各运动副的位置，这种将机构中各构件间相互运动关系表示出来并反映机构特征的简图称为机构运动简图。

机构中的构件可分为三类：

固定件或机架——用来支撑活动构件的构件。研究机构中活动构件的运动时，常以固定件作为参考坐标系。

原动件——运动规律已知的活动构件。它的运动是由外界输入的，故又称为输入构件。

从动件——机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。其中输出机构为预期运动的从动件称为输出构件，其他从动件则起传递运动的作用。

在一般的运动简图的绘制中，必有一个构件被相对地看作固定件，在活动构件中，必须有一个或几个原动件，其余的是从动件。两构件组成高副时，在简图中应该画出两构件接触处的曲线轮廓。例如，互相啮合的齿轮在简图中应画出一对节圆来表示，凸轮则用完整的轮廓曲线来表示。

### 2. 构件

构件均用直线或小方块来表示，如图 6-6 所示。

### 3. 转动副

当转动副回转轴线与图面垂直时，简图画法如图 6-7 (a) 所示；当图面与转动副回转轴线

共面时，简图画法如图 6-7 (b) 所示。

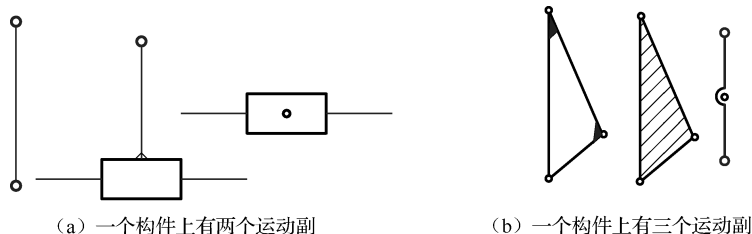


图 6-6 构件的表示方法

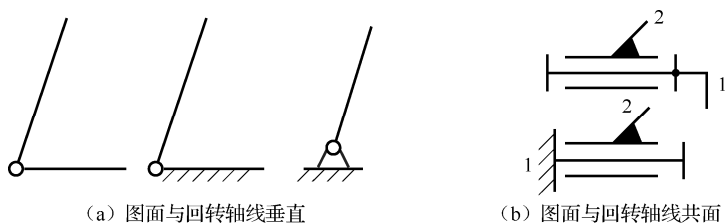


图 6-7 转动副的表示方法

#### 4. 移动副

移动副简图画法如图 6-8 所示，注意移动副的导路应与两构件相对移动的方向一致。

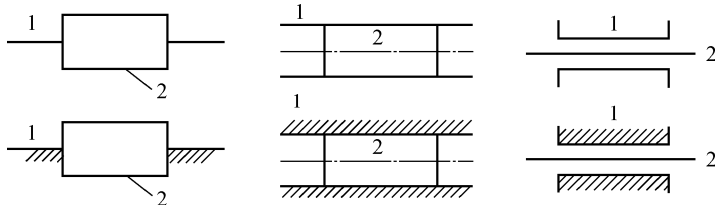


图 6-8 移动副的表示方法

#### 5. 高副

两构件组成高副时的相对运动与这两个构件在接触处的轮廓形状有直接关系，因此，在表示高副时必须画出两构件在接触处的曲线轮廓。如图 6-9、图 6-10 所示为齿轮高副和凸轮高副的表示方法。

绘制平面机构运动简图时，通常可按照下列步骤进行：

- (1) 分析机构的运动，确定机构中的机架、原动件和从动件，点清构件数。
- (2) 从原动件开始，沿着运动传递路线，分析各构件间的相对运动性质，确定运动副的种类、数目及定各运动副的位置。
- (3) 选择合适的投影平面（多数构件所在的平面），将原动件放置于一个合适的位置，以便于清楚地表达机构的运动关系。
- (4) 确定绘图比例。
- (5) 从原动件开始，按机构运动传递顺序，用规定的符号和线条绘制出机构运动简图，给构件编号，标注出原动件。

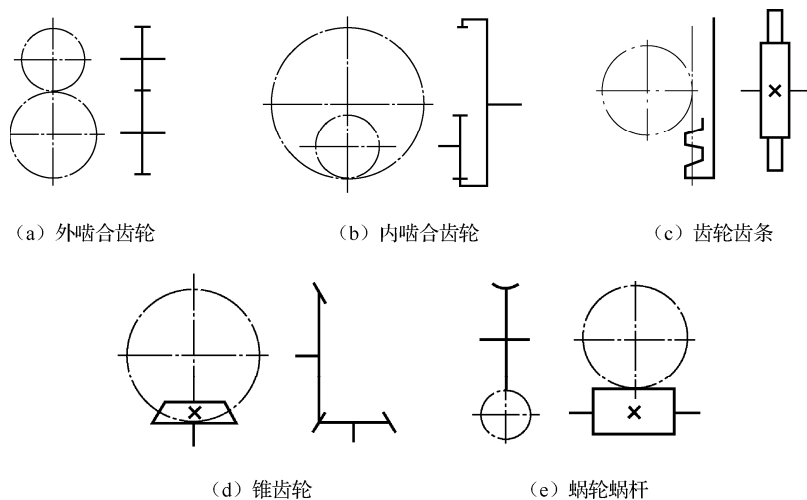


图 6-9 齿轮高副的表示方法

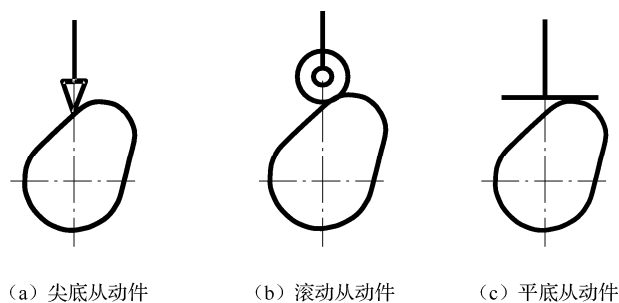


图 6-10 凸轮高副的表示方法

## 6.3 平面机构自由度和速度分析

机构的各构件之间应具有确定的相对运动,不能产生相对运动或无规则乱动的一堆构件难以用来传递运动。为了使组合起来的构件能产生运动并具有运动确定性,有必要探讨机构自由度和机构具有确定运动的条件。

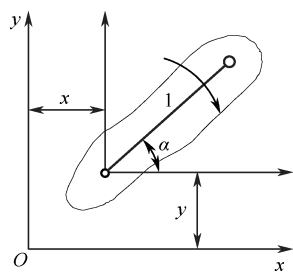


图 6-11 构件的自由度

自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有六个自由度。它可表示为在直角坐标系内沿着三个坐标轴的移动和绕三个坐标轴的转动。而对于一个做平面运动的构件,则只有三个自由度,如图 6-11 所示,即沿  $x$  轴和  $y$  轴移动,以及在  $xOy$  平面内的转动。为了使组合起来的构件能产生确定的相对运动,有必要探讨平面机构自由度和平面机构具有确定运动的条件。

如前所述,一个做平面运动的自由构件具有三个自由度。因此,平面机构的每个活动构件,在未用运动副连接之前,都有三个自由度。当两个构件组成运动副之后,它们的相对运动就受到约束,使得某些独立的相对运动受到限制。对独立的相对运动的限制称为约束。约束增多,自由度就相应减少。由于不同种类的运动副引入的约束不同,所以保留的自由度也不同。

## 1. 低副

### 1) 移动副

如图 6-12 所示, 约束了沿一个轴方向的移动和在平面内转动两个自由度, 只保留沿另一个轴方向移动的自由度。

### 2) 回转副

如图 6-13 所示, 约束了沿两个轴移动的自由度, 只保留一个转动的自由度。

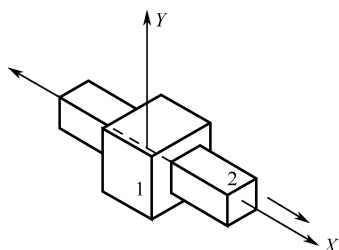


图 6-12 移动副约束

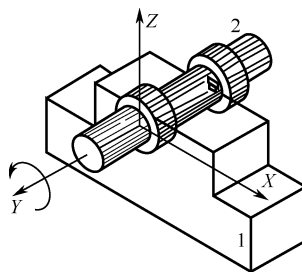


图 6-13 回转副约束

## 2. 高副

如图 6-14 所示, 只约束了沿接触处公法线  $n-n$  方向移动的自由度, 保留绕接触处的转动和沿接触处公切线  $t-t$  方向移动的两个自由度。

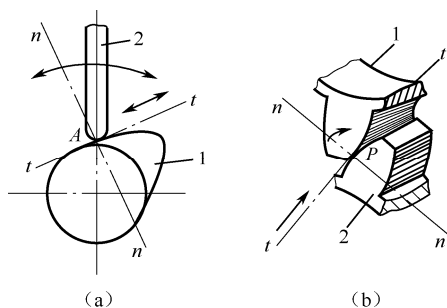


图 6-14 高副约束

结论: 在平面机构中, ①每个低副引入两个约束, 使机构失去两个自由度; ②每个高副引入一个约束, 使机构失去一个自由度。

如果一个平面机构中包含有  $n$  个活动构件 (机架为参考坐标系, 因相对固定, 所以不计在内), 其中有  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副, 则这些活动构件在未用运动副连接之前, 其自由度总数为  $3n$ 。当用  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副连接成机构之后, 全部运动副所引入的约束为  $2P_L + P_H$ 。因此活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数, 就是该机构的自由度数, 用  $F$  表示, 有

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (6-1)$$

式中,  $F$  为自由度数;  $n$  为活动构件数;  $P_L$  为低副数;  $P_H$  为高副数。

式 (3-1) 就是平面机构自由度的计算公式。由公式可知, 机构自由度  $F$  取决于活动构件

的数目及运动副的性质和数目。机构的自由度必须大于零, 机构才能够运动, 否则成为桁架。

计算平面机构自由度时, 应注意以下几点:

### 1) 复合铰链

三个或更多的构件在同一处连接成同轴线的两个或更多个转动副, 就构成了复合铰链, 计算自由度时应按两个或更多个转动副计算。图 6-15 (a) 所示为一个六构件机构, 其中构件 6 为机架, 构件 1 为原动件。请注意  $B$  点处是由 2、3、4 三构件构成的两个同轴转动副, 如图 6-15 (b) 所示。其中, 构件 4 与构件 2 铰接构成转动副  $Z_{42}$ 、与构件 3 铰接构成转动副  $Z_{43}$ , 两转动副均绕轴线  $B$  转动。这个复合铰链计算自由度时应按两个转动副计算。如果有  $m$  个构件以复合铰链相连接, 则构成的转动副数目应为  $m-1$  个。在计算机构自由度时, 应注意分析是否存在复合铰链。

### 2) 局部自由度

在有的机构中为了其他一些非运动的原因, 设置了附加构件, 这种附加构件的运动是完全独立的, 对整个构件的运动毫无影响, 我们把这种独立运动称为局部自由度。在计算机构自由度时局部自由度应略去不计。

如图 6-16 (a) 所示为凸轮机构, 随着主动件凸轮 1 的顺时针转动, 从动件 2 做上下往复运动, 为了减小摩擦和磨损, 在凸轮 1 和从动杆 2 之间加入滚子 3。应该注意到, 无论滚子 3 是否绕  $A$  点转动, 都不改变从动杆 2 的运动, 因而滚子 3 绕  $A$  点的转动属于局部自由度, 计算机构自由度时应将滚子和从动杆看成一个构件。又如图 6-16 (b) 所示为滚动轴承的结构示意图, 为减小摩擦, 在轴承的内、外圈之间加入了滚动体 3, 但是滚动体是否滚动对轴的运动毫无影响, 滚动体的滚动属于局部自由度, 计算机构自由度时可将内圈 1、外圈 2、滚动体 3 看成一个整体。

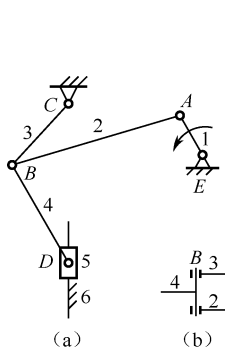


图 6-15 复合铰链

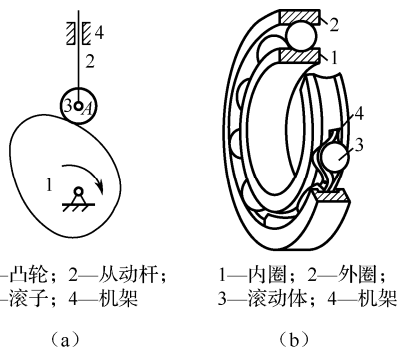


图 6-16 局部自由度

### 3) 虚约束

虚约束指机构中与其他约束重复, 对机构不产生新的约束作用的约束。计算机构自由度时应将虚约束除去不计。虚约束经常出现的场合有:

(1) 两构件间形成多处具有相同作用的运动副。如图 6-17 (a) 所示, 轮轴 2 与机架 1 在  $A$ 、 $B$  两处形成转动副, 其实两个构件只能构成一个运动副, 这里应按一个运动副计算自由度。又如图 6-17 (b) 所示, 在液压缸的缸筒 2 与活塞 1、缸盖 3 与活塞杆 4 两处构成移动副, 实际上缸筒与缸盖、活塞与活塞杆是两两固连的, 只有两个构件而并非四个构件, 此两个构件也



只能构成一个移动副。

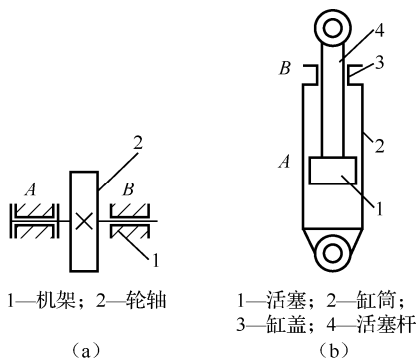


图 6-17 两构件间形成多处运动副的虚约束

(2) 两构件上连接点的运动轨迹重合。例如，图 6-18 所示是火车头驱动轮联动装置示意图，它形成一个平行五边形机构，其中构件 EF 存在与否并不影响平行四边形 ABCD 的运动，进一步可以肯定地说，三构件 AB、CD、EF 中缺省其中任意一个，均对余下的机构运动不产生影响，实际上是因为此三构件的动端点的运动轨迹均与构件 BC 上对应点的运动轨迹重合。应该指出，AB、CD、EF 三构件是互相平行的，否则就形成不了虚约束，机构就出现过约束而不能运动。

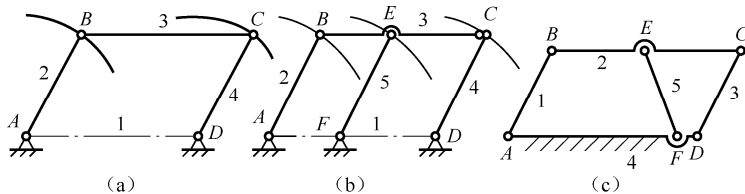


图 6-18 两构件上连接点运动轨迹重合

(3) 机构中具有对运动起相同作用的对称部分。如图 6-19 所示为一对称的齿轮减速装置，从运动的角度看，运动由齿轮 1 输入，只要经齿轮 2、3 就可以从齿轮 4 输出了。但是为使输入、输出轴免受径向力，即从力学的角度考虑，加入了齿轮 6、7。未引入对称结构时，机构由 4 个构件、3 个转动副、2 个高副组成，自由度为

$$F=3 \times (4-1)-3 \times 2-2=1$$

引入对称结构后，如果不将虚约束去除，则机构由 5 个构件、4 个转动副、4 个高副组成，自由度为

$$F=3 \times (5-1)-4 \times 2-4=0$$

显然是错误的。

【例 6-1】计算图 6-20 所示筛料机构的自由度。

解：(1) 工作原理分析。机构中标有箭头的凸轮 6 和曲轴 1 作为原动件分别绕 F 点和 A 点转动，迫使工作构件 5 带动筛子抖动筛料。

(2) 处理特殊情况。①2、3、4 三构件在 C 点组成复合铰链，此处有两个转动副；②滚子 7 绕 E 点的转动为局部自由度，可看成滚子 7 与活塞杆 8 焊接一起；③8 和 9 两构件形成两处移动副，其中有一处是虚约束。

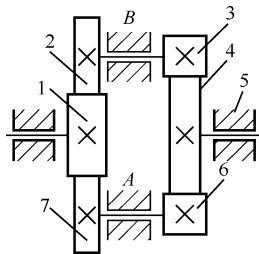
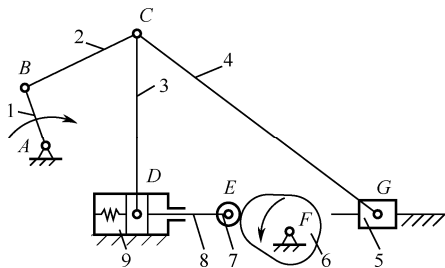


图 6-19 对称结构引入的虚约束

(3) 计算机构自由度。机构有 7 个活动构件、7 个转动副、2 个移动副、1 个高副，即  $n=7$ 、 $P_L=9$ 、 $P_H=1$ ，按式 (6-1) 计算得

$$F=3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$



1—曲轴；2、3、4—连杆；5—工作构件；6—凸轮；7—滚子；8—活塞杆；9—机架

图 6-20 筛料机构

机构要能运动，其自由度必须大于零，机构的自由度表明机构具有的独立运动数。通常每个原动件具有一个独立运动（如电动机转子具有一个独立转动，内燃机活塞具有一个独立移动），因此，当机构的自由度为 1 时，只需有一个原动件；当机构的自由度为 2 时，则需有两个原动件。因为机构的自由度即是机构所具有的独立运动的数目，所以只有给机构输入的独立运动数目与机构自由度数目相等，机构才能有确定的运动。故机构具有确定运动的条件是：原动件数目应等于机构的自由度数目。

如图 6-21 所示为五杆铰链系统，具有 5 个构件构成 5 个转动副，其自由度为  $F=3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ ，如果只给定构件 1 的运动规律，则构件 2、3、4 的运动规律并不确定。当给定了构件 1 和 4 的运动规律后，各构件的运动就得到确定。如图 6-22 所示为四杆铰链系统，具有四个构件形成 4 个转动副，其自由度为  $F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ ，当给定构件 1 的运动规律时，各构件的运动已确定。如果同时给定构件 1 和 2 的运动规律，则系统无法运动。由此可见，机构具有确定运动的条件为：

机构的原动件数目  $W$  等于机构的自由度数目  $F$ ，即  $W=F>0$ 。

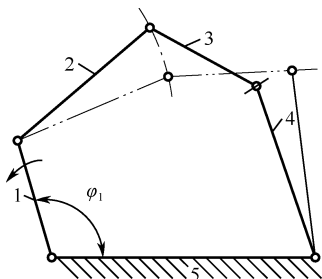


图 6-21 原动件数小于自由度数

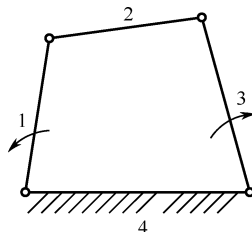


图 6-22 原动件数大于自由度数

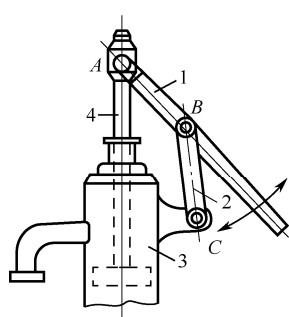
## 复习与思考

1. 现代机器由哪几部分组成？各部分有什么功能？试举例说明。
2. 什么是运动副？它在机构中起何作用？试举出生活中、生产中运用转动副、移动副的

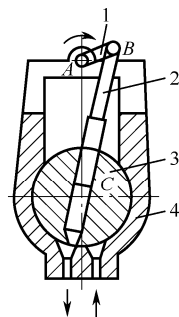
两个实例。

3. 平面机构运动简图绘制步骤有哪些?

4. 绘制图 6-23 所示机构的运动简图。



(a) 手动抽水机



(b) 摆动式柱塞泵

1—曲柄（原动件）；2—连杆；

1—曲柄（原动件）；2—摆杆；

3—缸体（机架）；4—活塞（移动滑块）

3—摇块；4—缸体（机架）

图 6-23 题 4 用图

5. 计算图 6-20 所示筛料机构的自由度。

## 第 7 章

# 医疗器械产品材料设计基础

在医疗器械领域，常用的材料以工程材料为主，包括金属、合金、陶瓷、高分子材料、复合材料及其他各种材料，许多材料可以在不同的场合中得到应用。材料科学已成为现代工业和科学技术的基础，在国民经济发展中占有极其重要的地位。医疗器械领域的发展和进步，同样与新材料的发现和使用密切相关。

### 7.1 医疗器械材料分类

现代产品设计中应用的材料种类繁多，按化学组成的不同，可将医疗器械所使用的材料分为金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料等，如图 7-1 所示。

#### 7.1.1 金属材料

金属材料键合方式为“金属键”，分为黑色金属和有色金属两大类。铁及铁合金称为黑色金属，即钢铁材料。其他金属通称为有色金属。其中，黑色金属用量占工程金属的 60% 以上。黑色金属之外的所有金属及其合金称为有色金属。有色金属的种类很多，根据其特性的不同又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等。

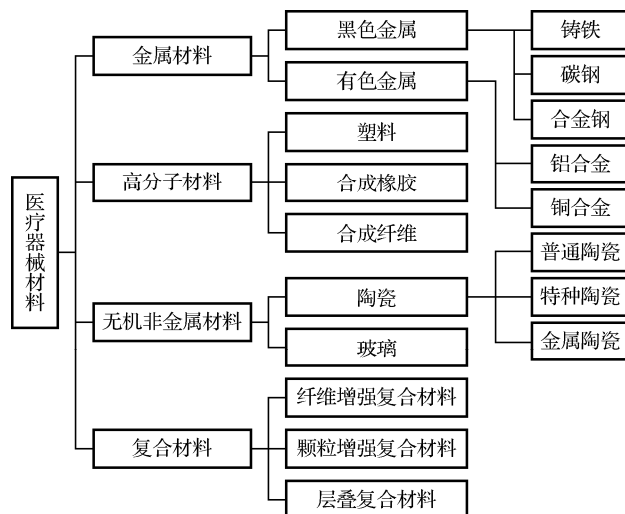


图 7-1 医疗器械材料分类

金属材料用量最大、用途最广；分为黑色金属和有色金属。

### 1. 黑色金属

黑色金属通常指钢和铸铁，占金属材料的 95% 以上。

铸铁分为灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁及特殊性能铸铁等。由于铸铁中石墨的存在，使它的强度、塑性及韧性较差，不能锻造，但具有良好的铸造性；由于游离态石墨存在，使铸铁具有高的减摩性、切削加工性和低的缺口敏感性。目前，许多重要的机械零件能够用球墨铸铁来代替合金钢。

钢材按用途分类可分为结构钢、工具钢、特殊性能钢。

- 结构钢：分为工程用钢和机器用钢，工程用钢用于建筑、桥梁、船舶、车辆等，机器用钢用于渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢和耐磨钢等；
- 工具钢：包括模具钢、刀具钢、量具钢；
- 特殊性能钢：包括不锈钢、耐热钢等。

在医疗器械设计中，常用到的是各种机器用钢材和特殊性能钢材，如用于结构设计的渗碳钢、用于有抗腐蚀要求场合的不锈钢等。设计过程中可参考设计手册中钢材牌号、化学成分和力学性能。

### 2. 有色金属

有色金属即非铁合金，指除铁基合金以外的所有金属及其合金材料。常用的有色金属有铝合金和铜合金等。

#### 1) 铝及铝合金

由于纯铝材料铝合金硬度偏低，且容易氧化，不适合做机械零件。通常向铝中加入适量的 Si、Cu、Mg、Mn 等合金元素得到成分不同的铝合金，改变其组织结构，提高力学性能。合金化可提高纯铝的强度并保持纯铝的特性，一些铝合金还可经冷变形强化或热处理，进一步提高

强度。铝合金既具有高的强度又保持了纯铝的优良特性。因此铝合金可用于制造承受较大载荷的机械零件或构件,成为结构设计中广泛应用的有色金属材料。

## 2) 铜及铜合金

铜在自然界中既可以以矿石的形式存在,又可以以纯金属的形式存在,是我国历史上使用较早、用途较广的一种非铁金属材料。工业纯铜的强度低,尽管通过冷变形强化可使其强度提高,但塑性却急剧下降,因此不适合作为结构材料。工业上,常对纯铜做合金化处理,加入一些如 Zn、Al、Sn、Mn、Ni 等合金元素,获得强度和韧性都满足要求的铜合金。铜合金分为黄铜、白铜和青铜。黄铜是以 Zn 为主加元素的铜合金,白铜是 Cu、Ni 合金,青铜是除黄铜和白铜以外的所有铜合金,应用较多的是黄铜和青铜。

## 7.1.2 高分子材料

高分子材料又称聚合物,由相对分子质量很大的大分子组成,其主要原料是石油化工产品。高分子材料重量轻、电绝缘、隔热、耐蚀。按其性能分为塑料、橡胶、合成纤维和胶粘剂等。

### 1. 塑料

塑料是以树脂为主要成分,在一定温度和压力下塑造成一定形状,并在常温下能保持既定形状的高分子有机材料。工程塑料是以树脂(天然的或合成的)为主要组分,加入一些用来改善使用性能和工艺性能的添加剂而制成的。

塑料品种繁多,而每一品种又有多种牌号,常用的塑料分类方法有下述两种:

#### 1) 按树脂的性质分类

热塑性塑料:是指在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料。

热固性塑料:指在一定温度和压力等条件下,保持一定时间而固化,固化后再加热将不再软化,也不溶于溶剂,只能塑制一次的塑料。

#### 2) 按塑料使用范围分类

通用塑料:将产量大、价格低、用途广、影响面宽的一些塑料品种习惯称为通用塑料。其内涵常随时代及科学技术的发展而有些变化。重要的通用塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等品种。

工程塑料:是指可以作为结构材料的塑料。可代替金属作为机械零件和工程结构件使用。主要有 ABS 塑料、有机玻璃、尼龙、聚碳酸酯、聚四氟乙烯、聚甲醛、聚砒等。

特种塑料:是指具有特种性能和特种用途的塑料,如医用塑料、耐高温塑料、耐腐蚀塑料等。耐热塑料常见的有聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、有机硅树脂、环氧树脂等。

塑料的性能特点:密度小,比强度高,耐蚀性好,电性能优良,减摩性、耐磨性及自润滑性好,可消音吸振,具有可塑性和熔融流动特性等,但强度低、刚性差、耐热性低、易老化。

工程塑料的用途及发展:工程塑料并不是金属的代用品,而是一类具有独特性能的新型高分子材料。在选用时应注意扬长避短,针对不同的具体要求,选择综合性能最佳、成本较低的材料和保证产品质量最好的加工方法,这样才能充分发挥工程塑料的优越性。

塑料在医疗器械领域的应用也越来越多,例如,医疗器械外壳、盖板、机械结构骨架构件、

电子、电器等复杂形状的部件,可用 ABS 塑料;要求耐磨并具有一定自润滑性的,则需使用聚酰胺、聚甲醛和聚四氟乙烯。

## 2. 橡胶

橡胶是以高分子化合物为基础的具有高弹性的材料。

### 1) 橡胶的组成和性能特点

工业橡胶由生胶和橡胶配合剂组成。生胶是指无配合剂、未经硫化的橡胶,其来源有天然和合成两种。生胶的性能随温度变化很大,如高温发黏、低温变脆,必须加入配合剂,经硫化处理后才能制成各种橡胶制品。橡胶配合剂有硫化剂、硫化促进剂、防老剂、软化剂、填充剂、发泡剂、着色剂等。

橡胶最大的特点是高弹性,有储能、耐磨、隔音、绝缘等性能。橡胶广泛用于制造密封件、减振件、轮胎、电线、胶管等。

### 2) 常用合成橡胶

合成橡胶按用途和用量分为通用橡胶和特种橡胶。前者主要用于制作轮胎、运输带、胶管、胶版、垫片、密封装置等;后者主要用于高低温、强腐蚀、强辐射等特殊环境下工作的橡胶制品。

## 7.1.3 无机非金属材料

无机非金属材料是以天然硅酸盐(黏土、石英、长石等)或人工合成化合物(氮化物、氧化物、碳化物等)为原料,经过制粉、配料、成型、高温烧结而成的固体材料。

### 1) 陶瓷

陶瓷可粗略地分为传统陶瓷和先进陶瓷。其中,传统陶瓷是利用天然硅酸盐矿物(如黏土、石英、长石等)为原料制成的陶瓷,又称普通陶瓷。先进陶瓷是采用高纯度的人工合成原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硅化物、硼化物等)制成的具有各种独特而优异的力学、物理或化学性能的陶瓷,又称特种陶瓷、新型陶瓷、现代陶瓷或精细陶瓷。

除普通陶瓷外,特种陶瓷、金属陶瓷等也可作为医疗器械设计材料使用。

特种陶瓷也叫现代陶瓷、精细陶瓷或高性能陶瓷。特种陶瓷的原料是人工提炼的,即纯度较高的金属氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等化合物。这类陶瓷具有一些独特的性能,可满足工程结构的特殊需要。

金属陶瓷以金属氧化物(如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$  等)或金属碳化物(如  $\text{TiC}$ 、 $\text{WC}$ 、 $\text{TaC}$ 、 $\text{NbC}$  等)为主要成分,再加入适量的金属粉末(如  $\text{Co}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Mo}$  等及其合金),通过粉末冶金方法制成,具有金属某些性质的陶瓷,属于颗粒增强型的复合材料。

伴随着各种新型材料的异军突起,快离子陶瓷、压电陶瓷、导电陶瓷、光学陶瓷、敏感陶瓷(如光敏、气敏、热敏、湿敏等)、激光陶瓷、超导陶瓷等性能各异的功能陶瓷也在不断地涌现,在各个领域发挥着巨大的作用。

## 2) 玻璃

玻璃是非晶无机非金属材料, 主要成分为二氧化硅和其他氧化物。工业用玻璃一般是用多种无机矿物(如石英砂、硼砂、硼酸、重晶石、碳酸钡、石灰石、长石、纯碱等)为主要原料, 另外加入少量辅助原料制成的。

玻璃的理论强度很高, 而实际强度仅为理论强度的 1% 以下。具有很高的抗压强度, 而抗拉强度较低。玻璃的硬度比较高, 脆性很大。常温下一般玻璃是绝缘体。随温度上升, 玻璃的导电性迅速提高, 达到熔融状态时, 玻璃成为良导体。玻璃的导热性很差, 一般不耐温度变化, 热膨胀系数较小。玻璃的化学性质较稳定, 但不耐氢氟酸和碱。卤化物玻璃的折射率低, 色散低, 多用作光学玻璃。

医疗器械产品设计常用的玻璃有:

(1) 普通玻璃(钠钙玻璃), 由石英和氧化钠或氧化钙等金属氧化物熔化, 可用于制造对耐热、化学稳定性没有特殊要求的玻璃制品。

(2) 硼硅酸盐玻璃, 用氧化硼取代普通玻璃中的部分碱金属氧化物而得到, 具有良好的化学稳定性。

(3) 石英玻璃, 由各种纯净的天然石英(如水晶、石英砂等)熔化制成, 线膨胀系数极小, 是普通玻璃的  $1/10 \sim 1/20$ , 有很好的抗热震性, 它的耐热性很高, 经常使用温度为  $1100 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ , 短期使用温度可达  $1400^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 钢化玻璃, 是将普通玻璃采用淬火或化学方法制成的高强度玻璃。它的强度比普通玻璃高得多, 不易破碎, 一旦破碎, 其碎片棱角圆滑, 不易伤人, 是很好的安全玻璃。

(5) 微晶玻璃, 在玻璃中加入某些成核物质, 通过热处理、光照射或化学处理等手段, 在玻璃内均匀地析出大量的微小晶体, 形成致密的微晶相和玻璃相的多相复合体, 称为微晶玻璃。通过控制微晶的种类数量、尺寸大小等, 可以获得透明微晶玻璃、膨胀系数为零的微晶玻璃、表面强化微晶玻璃、不同色彩或可切削微晶玻璃。

## 7.1.4 复合材料

金属、高分子、无机非金属材料各有优点, 将两种或两种以上的材料微观地组合在一起形成的材料, 便是复合材料。各组成材料取长补短, 是一种新型的优异材料。按材料基体不同可分为树脂基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料。按材料增强相形状分类, 可分为纤维增强复合材料、颗粒增强复合材料和层叠复合材料。

复合材料既能保持各组成相的最佳性能, 又具有组合后的新性能, 同时还可以按照构件的结构、受力和功能等要求, 给出预定的、分布合理的配套性能, 进行材料的最佳设计, 而且材料与结构可一次成型(即在形成复合材料的同时也得到了结构件)。复合材料的某些性能是单一材料无法比拟也无法具备的。例如, 玻璃和树脂的强韧性都不高, 但它们组成的复合材料(玻璃钢)却有很高的强度和韧性, 而且重量很轻; 用缠绕法制造的火箭发动机壳, 主应力方向上的强度是单一树脂的 20 多倍; 温度膨胀系数不同的黄铜片和铁片复合实现自动控温, 用于制作自动控温开关; 导电铜片两边加上隔热、隔电塑料实现一定方向导电、另外方向绝缘及隔热的双重功能。



## 7.2 材料性能

为医疗器械产品选用材料时,首先要考虑材料的有关性能,使之与构件的使用要求相匹配。通常需要考虑的材料性能分为:使用性能和工艺性能两大类。

(1) 使用性能:材料在使用过程中所表现出来的性能,包括力学性能、物理性能、化学性能等。

(2) 工艺性能:材料在加工过程中所需要的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削性能等。

### 7.2.1 力学性能

金属材料的力学性能是指材料在载荷作用下所表现出来的特性(即金属材料在载荷作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能)。它取决于材料本身的化学成分和材料的微观组织结构。

材料在外力作用下,将发生形状尺寸上的变化,即产生变形。变形分为两大类,即弹性变形和塑性变形。弹性变形:材料在外力下产生变形,当外力去除以后仍能恢复原来形状的变形。塑性变形:材料在外力下产生的永久变形,而材料本身并不发生破坏。

力学性能主要包括以下基本概念:

#### 1) 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。

(1) 屈服强度:金属材料发生屈服现象时的屈服极限,也就是抵抗微量塑性变形的应力。

(2) 抗拉强度:材料拉伸过程中,在拉断以前能承受的最大外力所对应的应力值。反映材料抵抗断裂的能力。

#### 2) 塑性

塑性是指在外力作用下,材料能稳定地发生永久变形而不破坏其完整性的能力。应力超过弹性极限后,发生的变形包括弹性变形和塑性变形两部分,塑性变形不可逆。

#### 3) 韧性

韧性表示材料在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力。韧性越好,则发生脆性断裂的可能性越小。

#### 4) 硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力。

硬度测试有很多种方法,如压入法、回弹法、划痕法等,工业上主要用的是压入法。压入法是将比工件更硬的物质压入工件表面,利用所得到的压痕测量工件的硬度的方法。常用的压痕法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

### 5) 疲劳

疲劳是指构件在低于屈服强度的条件下, 在交变载荷作用下发生破坏的现象。这种断裂称为“疲劳断裂”。引起疲劳断裂的最低应力值即疲劳强度。

### 6) 断裂韧性

材料抵抗裂纹扩展断裂的韧性性能称为断裂韧性, 是材料抵抗脆性破坏的韧性参数。

低应力脆断是指工程上金属材料经常会出现材料在名义应力远低于屈服强度的情况下产生脆断的现象。

### 7) 热疲劳

由于热循环致使温度反复变化, 引起的热应力、热应变, 使材料受到疲劳损伤而破坏的现象。

## 7.2.2 物理和化学性能

所使用材料的物理、化学性能虽然不是结构设计的主要参数, 但在某些特定的情况下却是必须加以考虑的因素。

### 1. 材料的物理性能

物理性能即材料本身所具有的特性, 包括:

(1) 密度: 单位体积材料的质量。一般将密度小于  $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$  的金属称为轻金属, 如铝、钛等; 密度大于该值的称为重金属。

(2) 熔点: 材料的熔化温度。它一般用摄氏温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 表示。纯金属都有固定的熔点, 即熔化过程在恒定的温度下进行, 而合金的熔化过程则在一个温度范围内进行。金属的熔点对于材料的成型和加工工艺十分重要。

(3) 热膨胀性: 随温度的增加, 材料体积增大的性质。通常用线膨胀系数  $\alpha$  表示。一般情况下, 陶瓷材料的热膨胀系数较低, 金属次之, 而高分子材料最大。

(4) 导热性: 材料单位截面积传导热量的能力, 一般用导热系数表示。材料的导热系数越大, 导热性能越好。

(5) 导电性: 材料对电流的传导特性。导电性的高低用电阻率表示, 电阻率小, 导电性高。导电性最高的金属是银, 其次是铜和铝, 与纯金属相比, 合金的导电性稍差。

(6) 磁性: 材料在磁场中表现出来的特性。根据金属在磁场中磁化程度的不同, 可分为铁磁性材料、顺磁性材料、抗磁性材料。

### 2. 材料的化学性能

化学性能即材料在某些介质中所表现出的抵抗化学侵蚀的能力, 包括:

(1) 耐腐蚀性: 材料抵抗水蒸气、酸、碱等介质腐蚀破坏的能力。金属材料的耐蚀性是一个很重要的性能, 特别是在腐蚀性介质中工作的金属材料需要重点考虑。

(2) 抗氧化性: 材料在含氧环境中抵抗氧化的能力。加热时, 由于高温促使表面强烈氧化而产生氧化皮, 可能造成氧化、脱碳等缺陷。在高温下工作的零件, 要求材料具有一定的抗氧化性。

### 7.2.3 工艺性能

工艺性能是指在零件的生产制造过程中,为了能顺利地进行成型加工,材料应具备的适应某种加工工艺的能力。它是决定材料能否进行加工或如何进行加工的重要因素。材料的工艺性能好坏,会直接影响零件的制造方法、零件的质量和制造成本。工艺性能包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。

#### 1. 铸造性能

铸造:将液体金属浇注到具有与零件形状相适应的铸型空腔中,冷却凝固以后获得毛坯、铸件或原材料的工艺方法。

铸造性能:液体金属浇注到铸型空腔中,待冷却凝固以后获得结构完整、轮廓清晰的铸件的能力。铸造性能包括充型能力、收缩等。

#### 2. 锻造性能

锻造:金属材料在外力作用下产生变形,从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的毛坯、锻件或原材料的工艺方法。

锻造性能:金属材料在外力作用下获得优质锻件的能力。锻造性能取决于金属材料的塑性和变形抗力。材料的塑性好、变形抗力小,则锻造性能好。

#### 3. 焊接性能

焊接:通过加热或加压力(或同时加热并加压力),借助于原子或分子之间的结合作用,使分离的金属结合起来的工艺方法。

可焊性:金属材料在一定的焊接方法、焊接材料、焊接规范及结构形式的条件下,形成优质连接的难易程度。材料的含碳量越低,则可焊性越好。

#### 4. 切削加工性

切削加工:借助于机械,将材料加工成零件的过程。

切削加工性:材料被切削加工成形并得到精确形状、尺寸及高的表面光洁度的能力。

#### 5. 热处理性能

热处理:通过加热、保温、冷却等手段,通常在不改变外形的条件下,改变其内部组织,以获得所需性能的工艺方法。

热处理性能:通过热处理改变材料的性能的难易程度。热处理性能包括淬硬性、淬透性、扩散能力等。

## 7.3 医疗器械材料选择

在掌握各种工程材料性能的基础上,正确、合理地选择和使用材料是从事工程构件和机械

零件设计与制造的工程技术人员的一项重要任务。相对于常规机械设计产品，医疗器械产品往往更加注重材料特性，如抗腐蚀性能、化学稳定性、耐老化性能、可重复消毒性能等。

### 7.3.1 选材的基本原则

医疗器械选材的基本原则是所选材料的使用性能应满足零部件的使用要求，经久耐用，易于加工，成本低，即从材料的使用性能、工艺性能和经济性三个方面进行考虑。

#### 1. 使用性能原则

使用性能是保证零部件完成指定功能的必要条件。使用性能是指零部件在工作过程中应具备的力学性能、物理性能和化学性能，它是选材的主要依据。对零部件的力学性能的要求，一般是在分析零部件的工作条件（温度、受力状态、环境介质等）和失效形式基础上提出来的。

根据使用性能选材的步骤如下：

##### 1) 分析零部件的工作条件确定使用性能

工作条件分析包括受力状态（拉、压、弯、剪、切）、载荷性质（静载、动载、交变载荷）、载荷大小及分布、工作温度（低温、室温、高温、变温）、环境介质（润滑剂、海水、酸、碱、盐）、特殊性能（电、磁、热）等。在对工作条件全面分析的基础上确定零部件的使用性能。

##### 2) 分析零部件失效原因确定主要性能

通过对零部件的失效分析，找出导致失效的主导因素，准确确定零部件的主要使用性能。

##### 3) 将零部件的使用性能要求转化为对材料性能指标的要求

通过分析、计算或模拟试验将使用性能要求指标化和量化。根据零部件的尺寸及工作时所承受的载荷，计算出应力分布，再由工作应力、使用寿命或安全性与材料性能指标的关系，确定性能指标的具体数值，才能选择所用材料。

##### 4) 材料的预选

根据对零部件材料性能指标的要求查阅有关手册，找到合适材料，根据这些材料的大致应用范围进行判断、选材。对用预选材料设计过的零部件，其危险截面在考虑安全系数后的工作应力必须小于所确定的性能指标数据值。然后再比较加工工艺的可行性和制造成本的高低，以最优方案的材料作为所选定的材料。

#### 2. 工艺性能原则

材料的工艺性能表示材料在一定加工方法条件下加工的难易程度。在满足使用性能的条件下，必须兼顾工艺性能。工艺性能的好坏决定了零部件的质量、生产效率和成本。有时材料的工艺性能可以成为选材的主导因素。工艺性能对大批生产的零部件尤为重要，大批生产时工艺周期的长短和加工费用的高低，常常是生产的关键。金属材料、高分子材料、陶瓷材料的工艺性能概要介绍如下。

### 1) 金属材料的工艺性能

铸造性能共晶合金最好, Al、Cu 好于铸铁, 铸铁好于铸钢。锻造性能低碳钢最好, 中碳钢次之, 高碳钢则较差。变形铝合金和加工铜合金较好, 而铸铁、铸铝不能进行冷热压力加工。

低碳钢焊接性能最好, 随碳和合金元素含量的增加, 焊接性能下降, 铸铁则很难焊接, 铝合金和铜合金的焊接性能比碳钢差。热处理工艺性能包括淬透性、淬火变形开裂及氧化、脱碳倾向等。

钢的含碳量越高, 其淬火变形和开裂倾向越大。选用渗碳钢时, 要注意钢的过热敏感性; 选用调质钢时, 要注意第二类回火脆性; 选用弹簧钢时, 要注意钢的氧化、脱碳倾向。

### 2) 高分子材料的工艺性能

高分子材料主要是成型加工, 高分子材料的切削加工性能较好, 与金属基本相同。但由于高分子材料的导热性较差, 在切削过程中易使温度急剧升高, 使热塑性材料变软, 热固性材料烧焦。

### 3) 陶瓷材料的工艺性能

陶瓷材料的加工工艺路线为: 备料→成型加工(配料、压制、烧结)→磨削加工→装配, 主要是成型。按零部件的形状、尺寸精度和性能要求不同, 可采用不同的成型加工方法(粉浆、热压、挤压、可塑)。陶瓷材料的切削加工性差, 除了采用碳化硅或金刚石砂轮进行磨削加工外, 几乎不能进行任何切削加工。

## 3. 经济性原则

选材的经济性原则是在满足使用性能要求的前提下, 采用便宜的材料, 使零部件的总成本, 包括材料的价格、加工费、试验研究费、维修管理等达到最低, 以取得最大的经济效益。为此, 材料选用应充分发挥资源优势, 尽可能采用标准化、通用化的材料, 以降低原材料成本、减少运输及实验费用。选用普通碳钢和铸铁能满足要求的, 就不应选用合金钢。在满足使用要求的条件下, 可以以铁代钢、以铸代锻、以焊代锻, 有效地降低成本, 简化加工工艺。对于表面性能要求高的零部件, 选用低廉的钢种进行表面强化来达到要求。运用价值分析、成本分析等方法, 综合考虑材料对产品功能和成本的影响, 从而获得最优化的技术效果和经济效益。

与常规机械设计产品类似, 医疗器械产品设计也需要根据结构特点和使用环境选用恰当的材料来制造, 从而保证制成的产品具有最佳形貌和性能。如果选材不当, 将会使所设计制造出的医疗器械产品不能发挥出最佳性能, 并可能导致其使用寿命大大降低, 或危及病人的生命安全; 或因选材不当, 导致成本太高, 失去其应有的市场竞争力。在医疗器械的研究和设计过程中, 选择合适的材料并研究其加工方法是非常重要的。所以, 从事医疗器械设计与制造的工程技术人员, 必须对其经常使用的各类材料有一定的了解。

## 7.3.2 医疗器械设计选材方法

目前, 医疗器械结构设计所使用的材料主要从金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等工程材料中选择。

金属材料具有优良的综合力学性能, 而且可以通过加工硬化和热处理等手段, 调整其各项

性能,同时生产成本较低,所以金属材料特别是钢铁,如碳钢、不锈钢等,目前仍然是机械结构设计中最主要的结构材料。当医疗器械有轻质、便携性要求时,结构或传动用材料可从轻质合金材料中选择,如铝合金、镁合金、钛合金等。

高分子材料的强度、刚度较低,易老化,一般不能用作承受载荷较大的机械零件,但其减振性好、耐磨性好,适于制作受力小、减振、耐磨、密封零件,如轻载齿轮、轮胎等。

陶瓷材料硬而脆,也不能用于制作重要的受力零件,但其具有高熔点、高硬度、耐蚀性好、红硬性好等特点,可用于制作高温下工作的零部件及耐磨、耐蚀零部件。

复合材料克服了高分子材料和陶瓷材料的不足,具有高比强度、高减振性、高抗疲劳能力、高耐磨性等优异性能,是一种很有发展前途的工程材料。金属材料具有优良的使用性能和工艺性能,储藏量大,生产成本低,广泛用于制作各种重要的机械零件和工程构件,是机械工业中最主要、应用最广泛的一类工程材料。

医疗机械的工作条件复杂,使用操作连续性强,标准化、系列化和通用性程度高,与操作者和病人密切接触,稍有不慎而发生的破坏性事故将会严重危及人身生命和设备安全。根据医疗器械的使用场合和使用目的不同,在材料选择上有着不同的特点。医疗器械主要零部件材料要依据其用途、结构形式、介质的性质和工作特点来进行选用,同时还应符合国家及有关部门颁布的标准、规定、规范、技术条件和相关技术文件。

医疗机械的选材应注意以下几个方面:

(1) 全面考虑机器的用途、结构形式、工作特点、介质性质、材料的使用性能、工艺性能和经济合理性。

(2) 所选材料的化学成分、金相组织、力学性能、物理性能、热处理和焊接方法应符合有关标准。

(3) 对有毒有害、具传染性或强化学腐蚀介质的设备,选材应尤其慎重,应严格执行有关标准。

(4) 与病人密切接触的医疗器械,在结构上和材料选择上应特别注意对消毒措施的耐受性,机械结构设计应注意人身安全的保障。

## 复习与思考

1. 金属材料具有哪些特性?金属材料有哪几类?
2. 什么是复合材料?复合材料有哪些优越的性能?
3. 常用的工程材料有哪几类?分别举例说明。
4. 医疗器械产品设计的选材原则是什么?选材需特别注意哪几方面?

## 第 8 章

# 医疗器械常用传动机构

### 8.1 平面连杆机构

平面连杆机构是由若干构件通过低副连接而成的平面机构，也称平面低副机构。

平面连杆机构广泛应用于各种机械和仪表中，医疗器械产品中也多有应用，其主要优点是：①由于运动副是低副，面接触，传力时压强小，磨损较轻，承载能力较高；②构件的形状简单，易于加工，构件之间的接触由构件本身的几何约束来保持，故工作可靠；③可实现多种运动形式及其转换，满足多种运动规律的要求；④利用平面连杆机构中的连杆可满足多种运动轨迹的要求。主要缺点有：①由于低副中存在间隙，机构不可避免地存在着运动误差，精度不高；②主动构件匀速运动时，从动件通常为变速运动，故存在惯性力，不适用于高速场合。

平面机构常以其组成的构件（杆）数来命名，如由四个构件通过低副连接而成的机构称为四杆机构，而五杆或五杆以上的平面连杆机构称为多杆机构。四杆机构是平面连杆机构中最常见的形式，也是多杆机构的基础。

## 8.1.1 四杆机构的基本形式及其演化

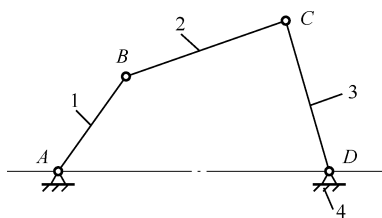


图 8-1 四杆机构的基本形式

构件间的运动副均为转动副连接的四杆机构，是四杆机构的基本形式，称为铰链四杆机构，如图 8-1 所示。由三个活动构件和一个固定构件（即机架）组成。其中， $AD$  杆是机架，与机架相对的杆（ $BC$  杆）称为连杆，与机架相连的构件（ $AB$  杆和  $CD$  杆）称为连架杆，能绕机架做  $360^\circ$  回转的连架杆称为曲柄，只能在小于  $360^\circ$  范围内摆动的连架杆称为摇杆。

根据两连架杆的运动形式的不同，铰链四杆机构可分为三种基本形式并以其连架杆的名称组合来命名。

### 1. 曲柄摇杆机构

两连架杆中一个为曲柄另一个为摇杆的四杆机构，称为曲柄摇杆机构。曲柄摇杆机构中，当以曲柄为原动件时，可将曲柄的匀速转动变为从动件的摆动，其典型应用如图 8-2 所示。图 8-2 (a) 为雷达天线机构，当原动件曲柄 1 转动时，通过连杆 2，使与摇杆 3 固结的抛物面天线做一定角度的摆动，以调整天线的俯仰角度。图 8-2 (b) 为汽车前窗的刮雨器，当主动曲柄  $AB$  回转时，从动摇杆做往复摆动，利用摇杆的延长部分实现刮雨动作。也有以摇杆为主动件，曲柄为从动件的曲柄摇杆机构。图 8-2 (c) 为缝纫机的踏板机构，踏板为主动件，当脚蹬踏板时，可将踏板的摆动变为曲柄即缝纫机皮带轮的匀速转动。

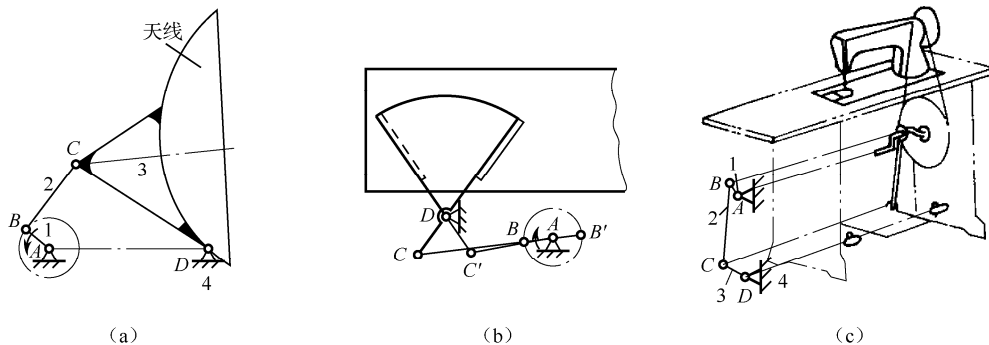


图 8-2 曲柄摇杆机构

### 2. 双曲柄机构

两连架杆均为曲柄的四杆机构称为双曲柄机构。通常，主动曲柄做匀速转动时，从动曲柄做同向变速转动，图 8-3 为双曲柄机构常见应用。其中，图 8-3 (a) 所示为机车车轮联动机构，图 8-3 (b) 所示为摄影车座斗机构，对于正平行四边形机构，由于两曲柄做等速同向转动，从而保证了机构的平稳运行。图 8-3 (c) 所示为车门启闭机构，是反平行四边形机构的一个应用，但  $AD$  与  $BC$  不平行，因此，两曲柄做不同速反向转动，从而保证两扇门能同时开启或关闭。

对于平行双曲柄机构，无论以哪个构件为机架都是双曲柄机构。但若取较短构件做机架，则两曲柄的转动方向始终相同。



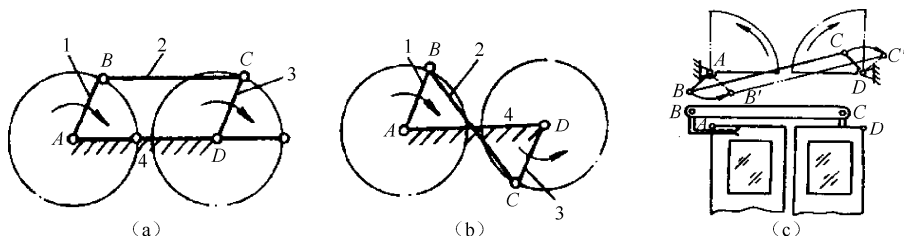


图 8-3 双曲柄机构

### 3. 双摇杆机构

两连架杆均为摇杆的铰链四杆机构称为双摇杆机构，图 8-4 为双摇杆机构的常见应用。其中，图 8-4 (a) 所示为港口起重机，当  $CD$  杆摆动时，连杆  $CB$  上悬挂重物的点  $E$  在近似水平直线上移动。图 8-4 (b) 所示的电风扇摇头机构中，电机装在摇杆 4 上，铰链  $B$  处装有一个与连杆 1 固结在一起的蜗轮。电机转动时，电机轴上的蜗杆带动蜗轮迫使连杆 1 绕  $B$  点做整周转动，从而使连架杆 2 和摇杆 4 做往复摆动，达到风扇摇头的目的。

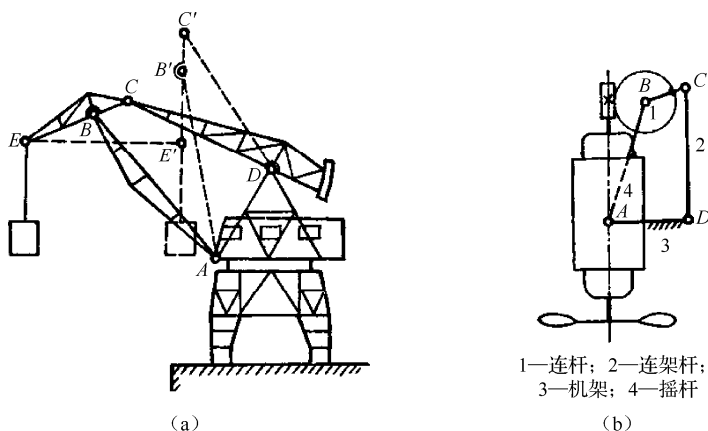


图 8-4 双摇杆机构

广泛应用的各种四杆机构，都可认为是从铰链四杆机构演化而来的。在实际应用中，通过改变机架、改变运动副尺寸、改变运动副类型等方法，可将丝杆机构演化为曲柄滑块机构、凸轮机构、双滑块机构、曲柄移动导杆机构、转动导杆机构、摆动导杆机构、摇块机构、定块机构、偏心轮机构等衍生四杆机构，用于承受较大载荷、改变运动方式或其他实际需求，还可以将上述各机构进行不同的组合，从而得到更多及功能各异的机构。

## 8.1.2 平面四杆机构的基本特性

铰链四杆机构三种基本形式的区别在于连架杆是否为曲柄。由于用低副连接的两构件无论固定其中哪一个，其相对运动不变，通过四杆机构的演化得到的衍生四杆机构中存在曲柄的充要条件如下：

- 最长杆与最短杆的长度之和小于或等于其余两杆长度之和；
- 最短杆或其相邻杆为机架。

根据有曲柄的条件可知:

- 当最长杆与最短杆长度之和大于其余两杆之和时, 只能得到双摇杆机构。
- 当最长杆与最短杆长度之和小于或等于其余两杆长度之和时, 通过演化得到的衍生四杆机构中, 最短杆为机架时, 得到双曲柄机构; 最短杆的相邻杆为机架时, 得到曲柄摇杆机构; 最短杆的相对杆为机架时, 得到双摇杆机构。

## 1. 平面四杆机构的运动特性

以图 8-5 所示的曲柄摇杆机构为例, 当曲柄为原动件时, 摇杆做往复摆动的左、右两个极限位置称为极位; 曲柄在摇杆处于两极位时的对应位置所夹的锐角称为极位夹角, 用  $\theta$  表示; 摇杆的两个极位所夹的角度称为最大摆角, 用  $\psi$  表示。

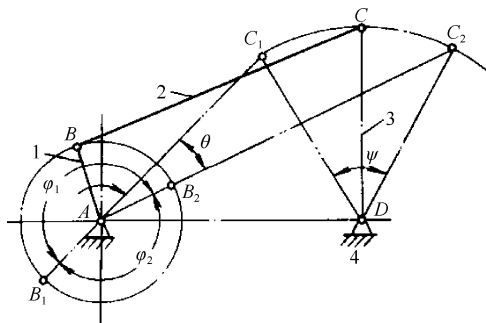


图 8-5 曲柄摇杆机构

图中, 当主动曲柄顺时针从  $AB_1$  转到  $AB_2$  时, 转过角度  $\varphi_1 = 180^\circ + \theta$ , 摇杆从  $C_1D$  转到  $C_2D$ , 时间为  $t_1$ ,  $C$  点的平均速度为  $v_1$ 。曲柄继续顺时针从  $AB_2$  转到  $AB_1$ , 转过角度  $= 180^\circ - \theta$ , 摇杆从  $C_2D$  回到  $C_1D$ , 时间为  $t_2$ ,  $C$  点的平均速度为  $v_2$ 。曲柄是等速转动, 其转过的角度与时间成正比, 因  $\varphi_1 > \varphi_2$ , 故  $t_1 > t_2$ 。由于摇杆往返的弧长相同, 而时间不同,  $t_1 > t_2$ , 所以  $v_2 > v_1$ , 说明当曲柄等速转动时, 摇杆来回摆动的速度不同, 返回速度较大。机构的这种性质, 称为机构的急回特性, 通常用行程速度变化系数  $K$  来表示这种特性, 即

$$K = \frac{\text{从动件回程平均速度}}{\text{从动件工作平均速度}} = \frac{C_1C_2/t_2}{C_2C_1/t_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} \quad (8-1)$$

$$\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1} \quad (8-2)$$

式 (8-1) 表明, 机构的急回程度取决于极位夹角的大小, 只要  $\theta$  不等于零, 即  $K > 1$ , 则机构具有急回特性;  $\theta$  越大,  $K$  值越大, 机构的急回作用就越显著。

对于对心曲柄滑块机构, 因  $\theta = 0^\circ$ , 则  $K = 1$ , 机构无急回特性; 而对偏置式曲柄滑块机构和摆动导杆机构, 因  $\theta \neq 0^\circ$ , 则  $K > 1$ , 机构有急回特性。

四杆机构的急回特性可以节省非工作循环时间, 提高生产效率, 如牛头刨床中退刀速度明显高于工作速度, 就是利用了摆动导杆机构的急回特性。

## 2. 平面四杆机构的传力特性

衡量机构传力性能的特性参数是压力角。在不计摩擦力、惯性力和杆件的重力时, 从动件上受力点的速度方向与所受作用力方向之间所夹的锐角, 称为机构的压力角, 用  $\alpha$  表示; 其余

角 $\gamma$ 称为传动角。

图 8-6 所示曲柄摇杆机构中, 如不考虑构件的重量和摩擦力, 则连杆是二力杆, 主动曲柄通过连杆传给从动杆的力  $F$  沿  $BC$  方向。受力点  $C$  的速度方向与  $F$  所夹的锐角即为机构在此位置的\*\*压力角 $\alpha$ ,  $F$  可分解为沿  $C$  点速度方向的有效分力  $F_t = F \cos \alpha = F \sin \gamma$  和沿杆方向的有害分力  $F_n = F \sin \alpha = F \cos \gamma$ 。显然,  $\alpha$  越小或者  $\gamma$  越大, 有效分力越大, 对机构传动越有利。 $\alpha$  和  $\gamma$  是反映机构传动性能的重要指标。由于  $\gamma$  角更便于观察和测量, 工程上常以传动角来衡量连杆机构的传动性能。

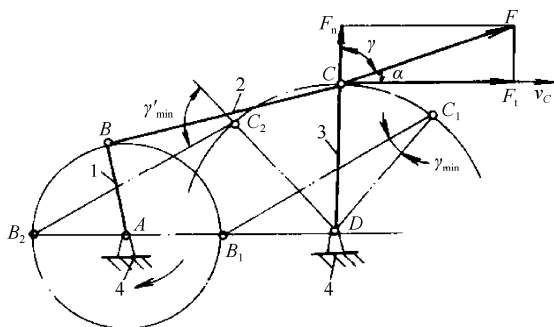


图 8-6 平面四杆机构压力角

在机构运动过程中, 压力角和传动角的大小是随机构位置而变化的, 为保证机构的传力性能良好, 设计时须限定最小传动角或最大压力角 $\alpha_{\max}$ 。通常取 $\gamma_{\min} \geq 40^\circ \sim 50^\circ$ 。为此, 必须确定 $\gamma = \gamma_{\min}$ 时机构的位置并检验 $\gamma_{\min}$ 的值是否小于上述的最小允许值。

图 8-7 所示的曲柄摇杆机构中, 当摇杆为主动件时, 在曲柄与连杆共线的位置出现传动角等于零的情况, 这时不论连杆  $BC$  对曲柄  $AB$  的作用力有多大, 都不能使杆  $AB$  转动, 机构的这种位置 (图中虚线所示位置) 称为死点。机构在死点位置, 出现从动件转向不定或者卡死不动的现象。例如, 缝纫机踏板机构采用曲柄摇杆机构, 它在死点位置, 出现从动件曲柄倒、顺转向不定 [见图 8-8 (a)] 或者从动件卡死不动 [见图 8-8 (b)] 的现象。

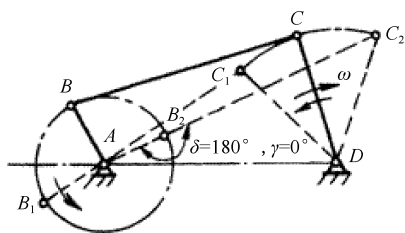


图 8-7 曲柄摇杆机构死点

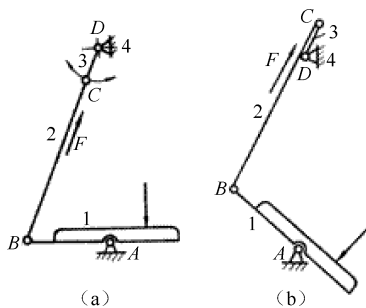


图 8-8 缝纫机踏板死点

对传动而言, 机构设计中应设法避免或通过死点位置, 工程上常利用惯性法使机构渡过死点, 如图 8-8 所示的缝纫机, 曲柄与大皮带轮为同一构件, 利用皮带轮的惯性使机构渡过死点。在机车车轮联动机构中, 当一个机构处于死点位置时, 可借助另一个机构来越过死点。对有夹紧或固定要求的机构, 则可在设计中利用死点的特点来达到目的。

平面四杆机构设计的主要任务是: 根据机构的工作要求和设计条件选定机构形式及确定各构件的尺寸参数。一般可归纳为两类问题:

- 实现给定的运动规律。如要求满足给定的行程速度变化系数以实现预期的急回特性或实现连杆的几个预期的位置要求。
- 实现给定的运动轨迹。如要求连杆上的某点具有特定的运动轨迹,如起重机中吊钩的轨迹为一水平直线,搅面机上  $E$  点的曲线轨迹等。

为了使机构设计得合理、可靠,还应考虑几何条件和传力性能要求等。

设计方法有图解法、解析法和实验法。三种方法各有特点,图解法和实验法直观、简单,但精度较低,可满足一般设计要求;解析法精确度高,适于用计算机计算,随着计算机的普及,计算机辅助设计四杆机构已成必然趋势。

## 8.2 凸轮与间歇运动机构

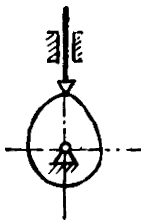
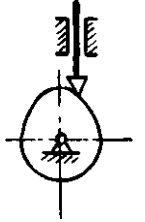
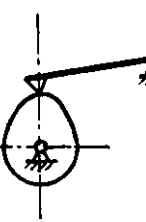
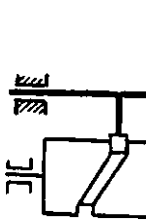
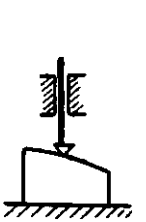
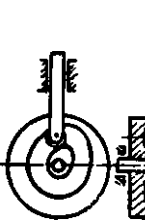
在许多机械中,有时需要将原动件的等速连续转动变为从动件的周期性停歇间隔单向运动(又称步进运动)或者是时停时动的间歇运动。例如,自动机床中的刀架转位和进给,成品输送及自动化生产线中的运输机构等的运动都是间歇性的。能够将主动件的连续运动转换为从动件有规律的间歇运动的机构,称为间歇运动机构。实现间歇运动的机构很多,最常见的有凸轮机构、棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构和恰当设计的连杆机构等。

### 8.2.1 凸轮机构

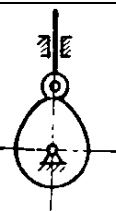
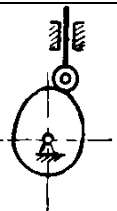
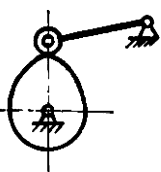
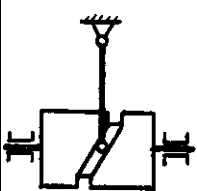
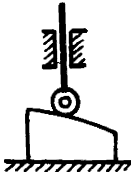

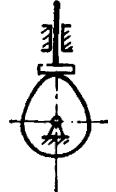

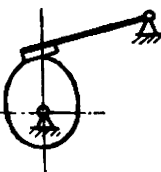


凸轮是一种具有曲线轮廓或凹槽的构件,它通过与从动件的高副接触,在运动时可以使从动件获得连续或不连续的任意预期运动。凸轮机构在各种机械中大量应用,即使在现代化程度很高的自动机械中,凸轮机构的作用也是不可替代的,凸轮机构在医疗器械产品设计中也有应用。

凸轮机构由凸轮、从动件和机架三部分组成,结构简单、紧凑,只要设计出适当的凸轮轮廓曲线,就可以使从动件实现任意的运动规律。按照凸轮及从动件的形状,凸轮机构的分类见表 8-1。在自动机械中,凸轮机构常与其他机构组合使用,充分发挥各自的优势,扬长避短。由于凸轮机构是高副机构,易于磨损;磨损后会影响运动规律的准确性,因此只适用于传递动力不大的场合。

表 8-1 凸轮机构的分类

盘形凸轮机构			圆柱凸轮机构	移动凸轮机构	锁合方式
					
尖顶对心直动从动件	尖顶偏置直动从动件	尖顶摆从动件	移动从动件	尖顶移动从动件	形锁合

续表

盘形凸轮机构			圆柱凸轮机构	移动凸轮机构	锁合方式
					
					

### 1. 凸轮机构中从动件常用的运动规律

凸轮机构设计的主要任务是保证从动件按照设计要求实现预期的运动规律，因此确定从动件的运动规律是凸轮设计的前提。

#### 1) 平面凸轮机构的工作过程和运动参数

图 8-9 为一对心直动尖底从动件盘形凸轮机构，从动件移动导路至凸轮旋转中心的偏距为  $e$ 。以凸轮轮廓的最小向径  $r_0$  为半径所作的圆称为基圆， $r_0$  为基圆半径，凸轮以等角速度  $\omega$  逆时针转动。在图示位置，尖底与  $A$  点接触， $A$  点是基圆与开始上升的轮廓曲线的交点，此时，从动件的尖底离凸轮轴最近。凸轮转动时，向径增大，从动件被凸轮轮廓推向上，到达向径最大的  $B$  点时，从动件距凸轮轴心最远，这一过程称为推程。与之对应的凸轮转角  $\delta_0$  称为推程运动角，从动件上升的最大位移  $h$  称为行程。当凸轮继续转过  $\delta_s$  时，由于轮廓  $BC$  段为一向径不变的圆弧，从动件停留在最远处不动，此过程称为远停程，对应的凸轮转角  $\delta_s$  称为远停程角。当凸轮又继续转过  $\delta'_0$  角时，凸轮向径由最大减至  $r_0$ ，从动件从最远处回到基圆上的  $D$  点，此过程称为回程，对应的凸轮转角  $\delta'_0$  称为回程运动角。当凸轮继续转过  $\delta'_s$  角时，由于轮廓  $DA$  段为向径不变的基圆圆弧，从动件继续停在距轴心最近处不动，此过程称为近停程，对应的凸轮转角  $\delta'_s$  称为近停程角。此时， $\delta_0 + \delta_s + \delta'_0 + \delta'_s = 2\pi$ ，凸轮刚好转过一圈，机构完成一个工作循环，从动件则完成一个“升—停—降—停”的运动循环。

上述过程可以用从动件的位移曲线来描述。以从动件的位移  $s$  为纵坐标，对应的凸轮转角为横坐标，将凸轮转角或时间与对应的从动件位移之间的函数关系用曲线表达出来的图形称为从动件的位移线图，如图 8-9 (b) 所示。

从动件在运动过程中，其位移  $s$ 、速度  $v$ 、加速度  $a$  随时间  $t$  (或凸轮转角) 的变化规律，称为从动件的运动规律，从动件的运动规律完全取决于凸轮的轮廓形状。工程中，从动件的运动规律通常是由凸轮的使用要求确定的。因此，根据实际要求的从动件运动规律所设计凸轮的轮廓曲线，完全能实现预期的生产要求。

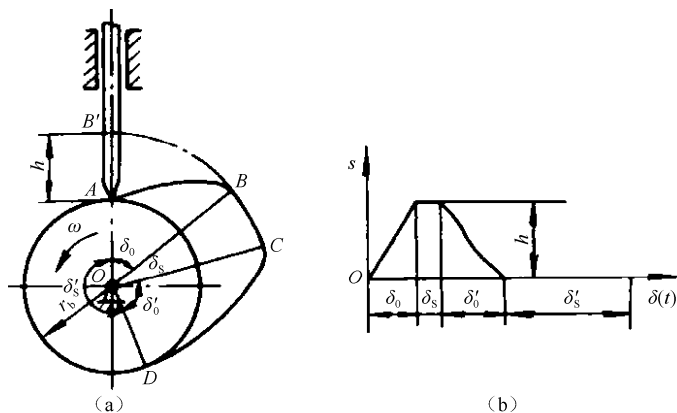


图 8-9 对心直动尖底从动件盘形凸轮机构

## 2) 从动件常用的运动规律

常用的从动件运动规律有等速运动规律，等加速等减速运动规律、余弦加速度运动规律及正弦加速度运动规律等。

(1) 等速运动规律。从动件推程或回程的运动速度为常数的运动规律，称为等速运动规律。从动件在推程（或回程）开始和终止的瞬间，速度有突变，其加速度和惯性力在理论上为无穷大，致使凸轮机构产生强烈的冲击、噪声和磨损，这种冲击为刚性冲击。因此，等速运动规律只适用于低速、轻载的场合。

(2) 等加速等减速运动规律。从动件在一个行程  $h$  中，前半行程做等加速运动，后半行程做等减速运动，这种运动规律称为等加速等减速运动规律。通常加速度和减速度的绝对值相等。这种运动规律的加速度在行程中存在三处有限的突变，因而会在机构中产生有限的冲击，这种冲击称为柔性冲击。与等速运动规律相比，其冲击程度大为减小。因此，等加速等减速运动规律适用于中速、中载的场合。

(3) 简谐运动规律（余弦加速度运动规律）。当一质点在圆周上做匀速运动时，它在该圆直径上投影的运动规律称为简谐运动。因其加速度运动曲线为余弦曲线，故也称为余弦加速度运动规律。此运动规律在行程的始末两点加速度存在有限突变，故也存在柔性冲击，只适用于中速场合。但当从动件做不停歇的升—降—升连续往复运动时，则得到连续的余弦曲线，柔性冲击被消除，这种情况下可用于高速场合。

(4) 摆线运动规律（正弦加速度运动规律）。当一圆沿纵轴做匀速纯滚动时，圆周上某定点  $A$  的运动轨迹为一摆线，而定点  $A$  运动时在纵轴上投影的运动规律即为摆线运动规律。因其加速度按正弦曲线变化，故又称正弦加速度运动规律。从动件按摆线规律运动时，在全行程中无速度和加速度的突变，因此不产生冲击，适用于高速场合。

除了四种基本的从动件常用的运动规律外，实际生产中还有更多的运动规律，如复杂多项式运动规律、改进型运动规律等。了解从动件的运动规律，便于我们在凸轮机构设计时，根据机器的工作要求进行合理选择。

## 2. 凸轮轮廓曲线的设计

在合理地选择从动件的运动规律之后，根据工作要求和结构条件确定凸轮的结构形式，确定凸轮转向和基圆半径等基本尺寸，就可设计凸轮的轮廓曲线了。设计方法通常有图解法和解

析法。图解法简便易行、直观，但作图误差大、精度低，适用于低速或对从动件运动规律要求不高的一般精度凸轮设计。对于精度要求高的高速凸轮、靠模凸轮等，则必须用解析法列出凸轮轮廓曲线的方程式，借助于计算机辅助设计精确地设计凸轮轮廓。本节主要介绍图解法。

图解法绘制凸轮轮廓曲线的原理是“反转法”，即在整个凸轮机构（凸轮、从动件、机架）上加一个与凸轮角速度大小相等、方向相反的角速度（ $-\omega$ ），于是凸轮静止不动，而从动件则与机架（导路）一起以角速度（ $-\omega$ ）绕凸轮转动，且从动件仍按原来的运动规律相对导路移动（或摆动），如图 8-10 所示。因从动件尖底始终与凸轮轮廓保持接触，所以从动件在反转行程中，其尖底的运动轨迹就是凸轮的轮廓曲线。

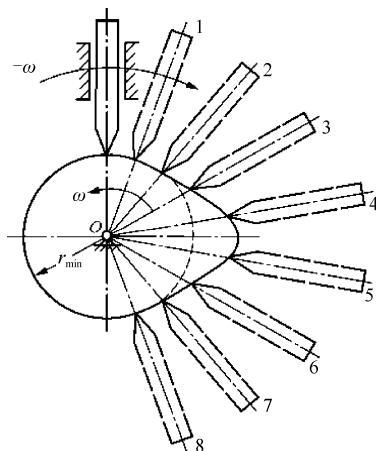


图 8-10 图解法绘制凸轮轮廓曲线原理

### 【例 8-1】 偏置直动尖底从动件盘形凸轮轮廓的绘制。

已知：给定从动件的位移线图，如图 8-11（b）所示，从动件导路的偏距为  $e$ ，凸轮的基圆半径为  $r_0$ ，凸轮以等角速度  $\omega$  顺时针回转，要求绘出此凸轮的轮廓 [见图 8-7（a）]。图 8-11 为偏置直动尖底从动件盘形凸轮轮廓的绘制过程，图中（a）为用“反转法”绘制的凸轮外轮廓曲线，（b）为从动件位移线图。

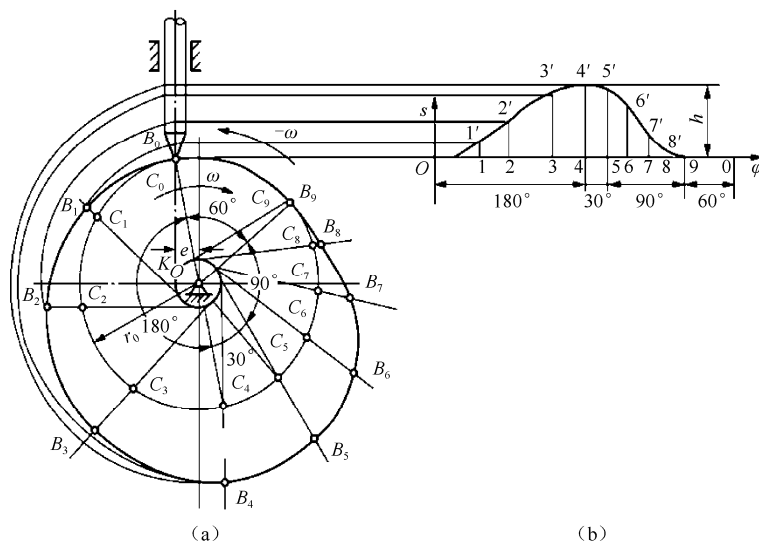


图 8-11 偏置直动尖底从动件盘形凸轮轮廓的绘制

根据“反转法”的原理，作图步骤如下（见图 8-11）：

（1）以与位移线图相同的比例尺作出偏距圆（以  $e$  为半径的圆），以  $r_0$  为半径画出基圆，过偏距圆上任一点（图中为  $K$  点）作偏距圆的切线作为从动件导路，导路与基圆相交于点  $B_0$ （ $C_0$ ）即为从动件尖底的起始位置。

（2）将位移线图  $s-\varphi$  的推程运动角和回程运动角分别作若干等分（图中各为四等分）。

（3）自  $OC_0$  开始，沿  $\omega$  的相反方向在基圆上画出推程运动角（ $180^\circ$ ）、远休止角（ $30^\circ$ ）、回程运动角（ $90^\circ$ ）、近休止角（ $60^\circ$ ），在基圆上得  $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_9$  诸点。将推程运动角和回程运动角分成与图 8-11（b）对应的等分，得  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$  诸点。

（4）过  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  作偏距圆的一系列切线，它们即为反转后从动件导路的一系列位置。

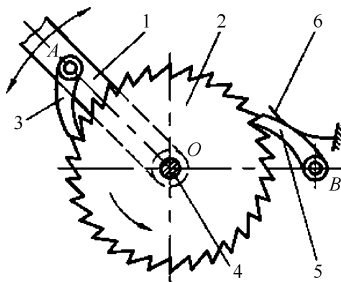
（5）沿以上各切线自基圆开始量取从动件相应的位移量，即取线段  $C_1B_1=11$ ， $C_2B_2=22$  等，得反转后尖底的一系列位置  $B_1$ 、 $B_2$  等。

（6）将  $B_0$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ ……点连成光滑的曲线（ $B_4$  和  $B_5$  之间及  $B_9$  和  $B_0$  之间均为以  $O$  为中心的圆弧），便得到所要求的凸轮轮廓，如图 8-11（a）所示。

## 8.2.2 其他间歇运动机构

### 1. 棘轮机构

棘轮机构主要由主动摆杆 1、棘轮 2、主动棘爪 3、止回棘爪 5 和机架 4 组成，如图 8-12 所示。当主动摆杆逆时针摆动时，摆杆上铰接的主动棘爪插入棘轮的齿内，推动棘轮同向转动一定角度。当主动摆杆顺时针摆动时，此时主动棘爪在棘轮的齿背上滑回原位，止回棘爪阻止棘轮反向转动，棘轮静止不动。此机构将主动件的往复摆动转换为从动棘轮的单向间歇转动。利用弹簧 6 使止回棘爪紧压齿面，保证止回棘爪工作可靠。



1—主动摆杆；2—棘轮；3—主动棘爪；4—机架；5—止回棘爪；6—弹簧

图 8-12 棘轮机构工作原理

根据工作目的的不同，可以设计出形式各异的棘轮机构。

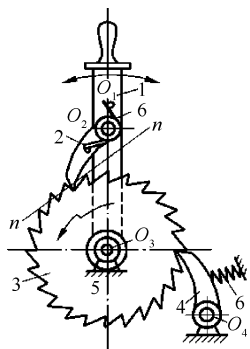
按结构可将棘轮机构分为齿式棘轮机构（如图 8-13 所示）和摩擦式棘轮机构（如图 8-14 所示）。

齿式棘轮机构靠棘爪和棘轮啮合传动。棘轮转角可在一定范围内调节，但棘爪在棘轮齿背上滑行时容易产生噪声、冲击和磨损，适用于低速、轻载和转角精度要求不高的场合。

摩擦式棘轮机构靠棘爪和棘轮之间的摩擦力传动。棘轮转角可做无级调节，传动平稳、噪声小，但由于靠摩擦力传动，会出现打滑现象，一方面可起到过载保护作用，另一方面也使传

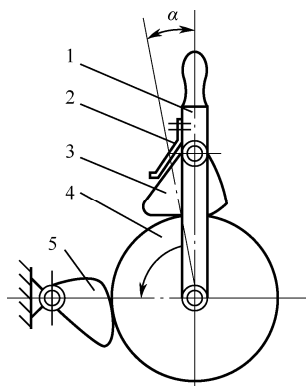


动精度降低, 适用于低速、轻载的场合。



1—摆杆; 2—棘爪; 3—棘轮; 4—止动爪;  
5—机架; 6—止动弹簧

图 8-13 齿式棘轮机构

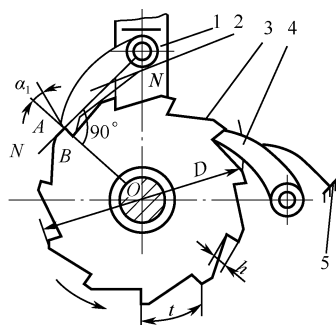


1—摆杆; 2—簧片; 3—棘爪;  
4—棘轮; 5—止动爪

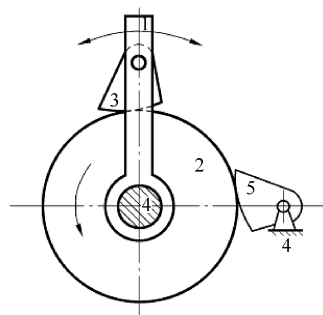
图 8-14 摩擦式棘轮机构

按啮合方式分可将棘轮机构分为外啮合式棘轮机构 (如图 8-15 所示) 和内啮合式棘轮机构 (如图 8-16 所示)。

外啮合式棘轮机构的棘爪或楔块安装在棘轮的外部, 应用较广, 其缺点是占用空间较大。如图 8-15 所示为外啮合式棘轮机构。



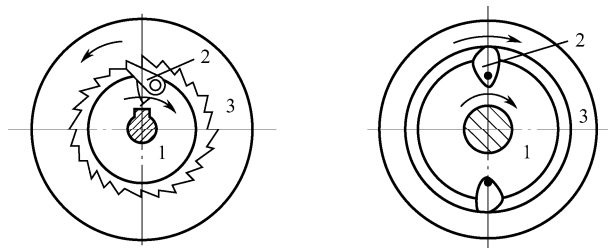
1—摆杆; 2—棘爪; 3—棘轮;  
4—止动爪; 5—止动簧片



1—摆杆; 2—棘轮; 3—棘爪;  
4—机架; 5—止动爪

图 8-15 外啮合式棘轮机构

内啮合式棘轮机构的棘爪或楔块安装在棘轮的内部, 其特点是结构紧凑, 外形尺寸小。如图 8-16 所示为内啮合式棘轮机构。



1—主动棘轮; 2—棘爪; 3—从动棘轮

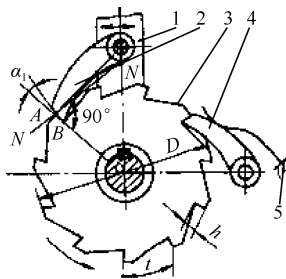
图 8-16 内啮合式棘轮机构

按运动形式可将棘轮机构分为单动式棘轮机构和双动式棘轮机构。

单动式棘轮机构：当棘爪向某一方向运动时，才能推动棘轮运动。它又可分为单向间歇转动和单向间歇移动机构。

单向间歇转动：间歇机构的从动件只做单向间歇转动，如图 8-17 所示。

单向间歇移动：当棘轮半径为无穷大时，棘轮就成为了棘齿条，主动件往复摆动时，棘爪即推动棘齿条做单向间歇移动，如图 8-18 所示。



1—摆杆；2—棘爪；3—棘轮；4—止动爪；5—止动簧片

图 8-17 单向间歇转动

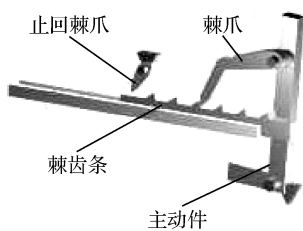


图 8-18 单向间歇移动

双动式棘轮机构（如图 8-19 所示）的棘爪可制成直头双动式和钩头双动式。即在主动摆杆上安装两个主动棘爪，当摆杆向两个方向往复摆动的过程中分别带动两棘爪，依次推动棘轮转动。双动式棘轮机构与单动式棘轮机构相比，结构紧凑，承载较大。

双向式棘轮机构（如图 8-20 所示）又称可变向棘轮机构，可以实现棘轮两方向间歇运动。其工作原理是变换棘爪相对棘轮的位置，实现棘轮的变向。

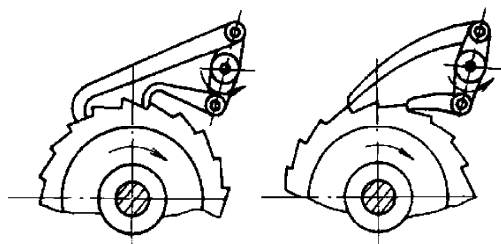
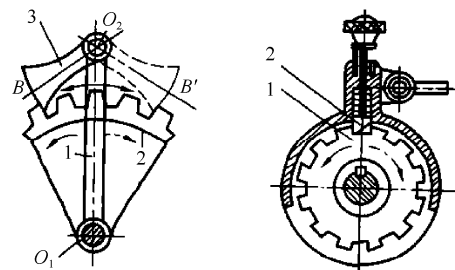


图 8-19 双动式棘轮机构



1—摆杆；2—棘轮；3—棘爪 1—棘轮；2—棘爪

图 8-20 双向式棘轮机构

## 2. 槽轮机构

槽轮机构由主动拨盘、从动槽轮及机架等组成，如图 8-21 所示。

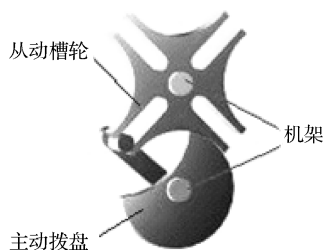


图 8-21 槽轮机构

当拨盘以等角速度做连续回转时，槽轮做间歇运动。当拨盘上的圆柱销没有进入槽轮的径向槽时，槽轮的内凹锁止弧面被拨盘上的外凸锁止弧面卡住，槽轮静止不动。当圆柱销进入槽轮的径向槽时，锁止弧面被松开，则圆柱销驱动槽轮转动。当拨盘上的圆柱销离开径向槽时，下一个锁止弧面又被卡住，槽轮又静止不动。由此将主动件的连续转动转换为从动槽轮的间歇转动。

槽轮机构主要分为传递平行轴运动的平面槽轮机构和传递相

交轴运动的空间槽轮机构两大类。

### 1) 平面槽轮机构

平面槽轮机构又分为外啮合槽轮机构和内啮合槽轮机构。

外啮合槽轮机构(如图 8-22 所示)中的槽轮径向槽的开口是自圆心向外,主动构件与从动槽轮转向相反。内啮合槽轮机构(如图 8-23 所示)中的槽轮上径向槽的开口是向着圆心的,主动构件与从动槽轮转向相同。两种槽轮机构都用于传递平行轴运动。与外槽轮机构相比,内槽轮机构传动较平稳,停歇时间较短,所占空间小。

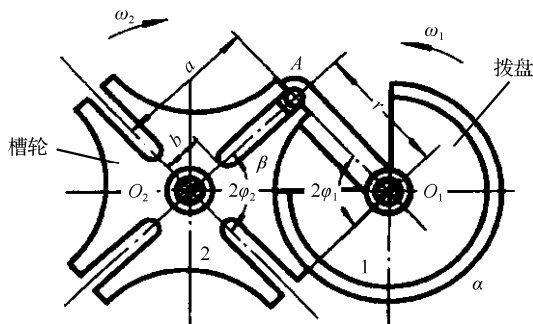


图 8-22 外啮合槽轮机构

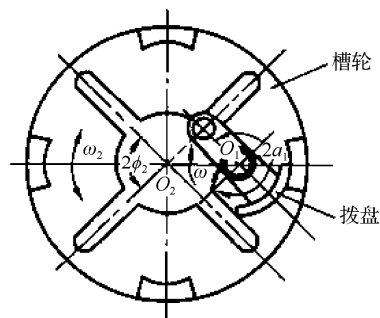


图 8-23 内啮合槽轮机构

槽轮机构中拨盘(杆)上的圆柱销数、槽轮上的径向槽数及径向槽的几何尺寸等均可视运动要求的不同而定。圆柱销的分布和径向槽的分布可以不均匀,同一拨盘(杆)上若干个圆柱销离回转中心的距离也可以不同,同一槽轮上各径向槽的尺寸也可以不同。

### 2) 空间槽轮机构

球面槽轮机构是一种典型的空间槽轮机构,是用于传递两垂直相交轴的间歇运动机构。其从动槽轮是半球形,主动构件的轴线与销的轴线都通过球心。当主动构件连续转动时,球面槽轮得到间歇运动。空间槽轮机构结构比较复杂,设计和制造难度较大,如图 8-24 所示。

槽轮机构的特点是:结构简单,工作可靠,机械效率高,能较平稳、间歇地进行转位,并能准确控制转角。但其槽轮机构动程不可调节,转角不可太小,销轮和槽轮的主、从动关系不能互换。当圆柱销突然进入或脱离径向槽时,传动存在柔性冲击,不适于高速场合。槽轮机构的结构要比棘轮机构复杂,加工精度要求较高,因此制造成本上升。

槽轮机构一般应用于转速不高和要求间歇转动的机械当中,如电影胶片放映机、转塔车床的刀架转位机构及一些自动机械、轻工机械或仪器仪表等。

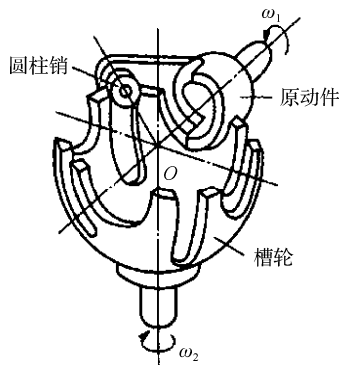


图 8-24 空间槽轮机构

## 8.3 齿轮机构

齿轮传动是近代机械传动中用得最多的传动形式之一。它不仅可用于传递运动,如各种仪

表机构；而且可用于传递动力，如常见的各种减速装置、机床传动、车辆传动系统等，在医疗器械领域也有广泛应用。

### 8.3.1 齿廓啮合的基本规律、特点和类型

#### 1. 齿轮机构的特点和类型

同其他传动形式相比，它具有下列优点：能保证传动比恒定不变；适用的载荷与速度范围很广，传递的功率可由很小到几万千瓦；结构紧凑，效率高；工作可靠且寿命长。其主要缺点是：对制造及安装精度要求较高；当两轴间距离较远时，采用齿轮传动较笨重。

齿轮的分类方法很多，按照两轴线的相对位置，可分为两类：平面齿轮传动和空间齿轮传动。

##### 1) 平面齿轮传动

该传动的两轮轴线相互平行，常见的有直齿圆柱齿轮传动 [见图 8-25 (a)]、斜齿圆柱齿轮传动 [见图 8-25 (d)]、人字齿轮传动 [见图 8-25 (e)]。此外，按啮合方式区分，前两种齿轮传动又可分为外啮合传动 [见图 8-25 (a)、(d)]、内啮合传动 [见图 8-25 (b)] 和齿轮齿条传动 [见图 8-25 (c)]。

##### 2) 空间齿轮传动

两轴线不平行的齿轮传动称为空间齿轮传动，如弧齿圆锥齿轮传动 [见图 8-25 (i)]、交错轴斜齿轮传动 [见图 8-25 (g)] 和蜗杆传动 [见图 8-25 (f)]。

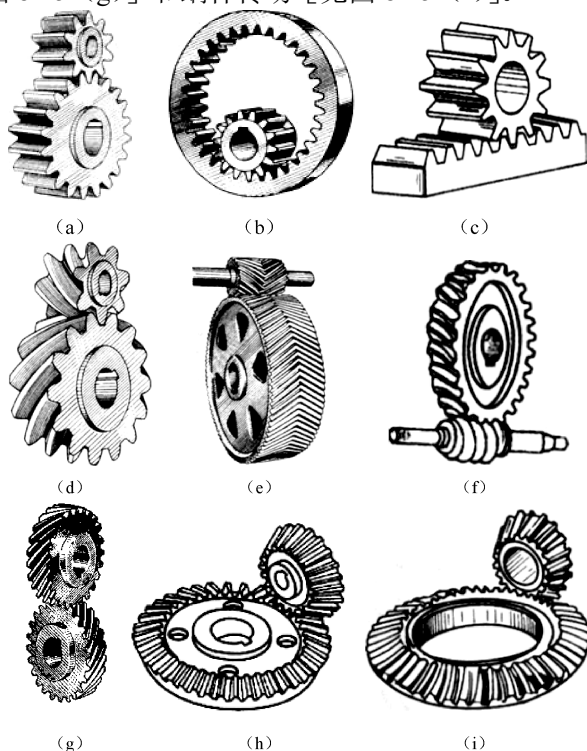


图 8-25 常见齿轮传动形式

另外, 齿轮传动按照齿轮的圆周速度可分为: 低速传动,  $v < 3\text{m/s}$ ; 中速传动,  $v = 3 \sim 15\text{m/s}$ ; 高速传动,  $v > 15\text{m/s}$ 。按齿轮的工作情况可以分为: 开式齿轮传动和闭式齿轮传动。

## 2. 齿轮啮合的基本定律

齿轮传动最基本的要求是其瞬时传动比必须恒定不变。否则当主动轮以等速度回转时, 从动轮的角速度为变数, 因而产生惯性力, 影响齿轮的寿命, 同时也引起振动, 影响其工作精度。要满足这一基本要求, 则齿轮的齿廓曲线必须符合一定的条件。

齿轮啮合的基本定律: 两啮合齿轮的齿廓  $C_1$  和  $C_2$  在  $K$  点接触的情况如图 8-26 所示, 设两轮的角速度分别为  $\omega_1$  和  $\omega_2$ , 则齿廓  $C_1$  上  $K$  点的速度  $v_{K1} = \omega_1 O_1 K$ ; 齿廓  $C_2$  上  $K$  点的速度  $v_{K2} = \omega_2 O_2 K$ 。

过  $K$  点作两齿廓的公法线  $NN$  与两轮中心连线  $O_1 O_2$  交于  $C$  点, 为保证两轮连续和平稳运动,  $v_{K1}$  与  $v_{K2}$  在公法线上的分速度应相等, 否则两齿廓将互相嵌入或分离, 即

$$v_{K1} \cos \alpha_{K1} = v_{K2} \cos \alpha_{K2}$$

过  $O_2$  作  $O_2 Z$  平行于  $NN$ , 与  $O_1 K$  的延长线交于  $Z$  点, 因  $\triangle Kab \sim \triangle KO_2 Z$ , 于是有

$$\frac{\overline{KZ}}{\overline{O_2 K}} = \frac{\overline{Kb}}{\overline{Ka}} = \frac{v_{K1}}{v_{K2}} = \frac{\omega_1 \overline{O_1 K}}{\omega_2 \overline{O_2 K}}$$

经整理有

$$\frac{\overline{KZ}}{\overline{O_1 K}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

又因为  $NN \parallel O_2 Z$ , 故  $\triangle O_1 O_2 Z \sim \triangle O_1 CK$ , 得

$$\frac{\overline{KZ}}{\overline{O_1 K}} = \frac{\overline{O_2 C}}{\overline{O_1 C}}$$

故传动比可写为

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2 C}}{\overline{O_1 C}} \quad (8-3)$$

上式表明: 两轮的角速度之比与连心线被齿廓接触点的公法线分得的两线段成反比。

由此可见, 要使两轮的角速度比恒定不变, 则应使  $\overline{O_2 C} / \overline{O_1 C}$  恒为常数。但因两轮的轴心为定点, 即  $\overline{O_1 O_2}$  为定长, 故欲使齿轮传动得到定传动比, 必须使  $C$  点成为连心线上的一个固定点。此固定点称为节点。因此, 齿廓的形状必须符合下述条件: 不论轮齿齿廓在哪个位置接触, 过接触点所作齿廓公法线均须通过节点  $C$ , 这就是齿廓啮合的基本定律。

理论上, 符合上述条件的齿廓曲线有无穷多, 但齿廓曲线的选择应考虑制造、安装和强度等要求。目前, 工程上通常用的曲线为渐开线、摆线和圆弧。由于渐开线齿廓易于制造, 故大多数的齿轮都是用渐开线作为齿廓曲线。本章只讨论渐开线齿轮传动。

如图 8-26 所示分别以  $O_1$  和  $O_2$  为圆心, 过节点  $C$  所作的圆称为齿轮的节圆, 其半径  $O_1 C$  和  $O_2 C$  称为节圆半径, 分别用  $r_1'$  和  $r_2'$  表示。由式 (8-3) 有

$$\omega_1 \overline{O_1 C} = \omega_2 \overline{O_2 C}$$

即通过节点的两节圆具有相同的圆周速度, 它们之间做纯滚动。

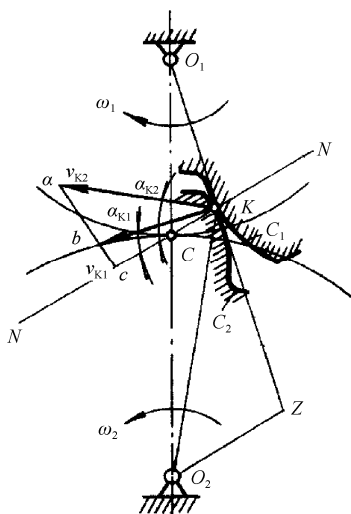


图 8-26 齿廓啮合基本定律

### 3. 渐开线标准齿轮各部分的名称、参数和几何尺寸

#### 1) 齿轮各部分的名称

图 8-27 所示为一直齿圆柱齿轮的一部分, 相邻两齿的空间称为齿间。齿间底部连成的圆称为齿根圆, 半径用  $r_f$  表示。连接齿轮各齿顶的圆称为齿顶圆, 半径用  $r_a$  表示。

在任意半径为  $r_k$  的圆周上, 一个轮齿左右两侧齿廓的弧长称为该圆上的齿厚, 用  $s_k$  表示; 而一齿间的弧长称为该圆上的齿槽宽, 用  $e_k$  表示; 相邻两齿对应点之间的弧线长称为该圆上的齿距, 用  $p_k$  表示,  $p_k = e_k + s_k$ 。

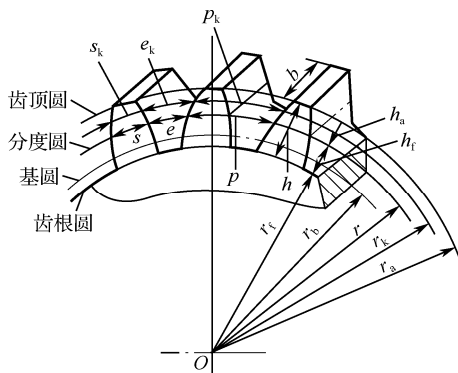


图 8-27 齿轮的几何尺寸

#### 2) 主要参数

设  $d_k$  为任意圆的直径（半径为  $r_k$ ）， $z$  为齿数，根据齿距的定义可得

$$p_k = \frac{\pi d_k}{z} \quad \text{或} \quad d_k = \frac{p_k}{\pi} z \quad (8-4)$$

上式中含无理数“ $\pi$ ”，为了便于设计、制造及互换使用，在齿轮上取一基准圆，使该圆周上的  $p_k/\pi$  比值等于一些较简单的数值，并使该圆上的压力角等于规定的某一数值，该圆称为分度圆，其直径用  $d$  表示，分度圆上的压力角以  $\alpha$  表示，我国采用  $20^\circ$  为标准值。显然有分度圆直径  $d = (p/\pi)z$ ，我们把比值  $p/\pi$  规定为标准值，用  $m$  来表示，称为模数，单位为 mm。于是分度圆上的齿距  $p$  和直径  $d$  分别为

$$p = \pi m (\text{mm}) \quad (8-5)$$

$$d = mz (\text{mm}) \quad (8-6)$$

模数是齿轮尺寸计算中的一个基本参数，模数越大，则齿距越大，轮齿也就越大，轮齿的抗弯能力越强。齿轮模数已标准化，我国常用的标准模数参见机械设计手册。

对于任一轮齿，其齿顶圆与分度圆间的部分称为齿顶，它沿半径方向的高度称为齿顶高，用  $h_a$  表示；而齿根圆与分度圆间的部分称为齿根，它沿半径方向的高度称为齿根高，用  $h_f$  表示；齿顶圆与齿根圆间沿半径方向的高度称为全齿高，用  $h$  表示，因此

$$h = h_a + h_f \quad (8-7)$$

设计中，将模数  $m$  作为齿轮各部分几何尺寸的计算基础，因此，齿顶高可表示为  $h_a = h_a^* m$ ，齿根高可表示为  $h_f = (h_a^* + c^*) m$ ，其中， $h_a^*$  称为齿顶高系数， $c^*$  称为顶隙系数。它们有两种标准数值：

正常齿  $h_a^*=1, c^*=0.25$

短齿  $h_a^*=0.8, c^*=0.3$

凡模数、压力角、齿顶高系数与顶隙系数等于标准数值，且分度圆上齿厚与齿槽宽相等的齿轮称为标准齿轮。因此，对于标准齿轮

$$s=e=\frac{p}{2}=\frac{\pi m}{2}$$

对于一对模数、压力角相等的标准齿轮，由于其分度圆上的齿厚与齿槽宽相等，因此，正确安装时分度圆与节圆重合，可看成两轮的分度圆相切做纯滚动。标准齿轮的这种安装称为标准安装，其中心距称为标准中心距。

对于单个齿轮而言，节圆、啮合角都是不存在的，只有当一对齿轮互相啮合时，节圆和啮合角才有意义。这时，节圆可能和分度圆重合，也可能不重合，须视两齿轮的安装是否正确而定。对于正确安装的一对齿轮，其啮合角  $\alpha'$  等于分度圆上的压力角  $\alpha$ 。

### 3) 标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸

标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸按表 8-2 进行计算。

表 8-2 标准直齿圆柱齿轮各部分尺寸的几何关系

名 称	符号	公 式		
		外齿轮	内齿轮	齿条
模数	$m$	强度计算后获得		
分度圆直径	$d$	$d=mz$		
齿顶高	$h_a$	$h_a=h_a^*m$		
齿根高	$h_f$	$h_f=(h_a^*+c^*)m$		
全齿高	$H$	$h=(2h_a^*+c^*)m$		
齿顶圆直径	$d_a$	$d_a=(z+2h_a^*)m$	$d_a=(z-2h_a^*)m$	$\infty$
齿根圆直径	$d_f$	$d_f=(z-2h_a^*-2c^*)m$	$d_f=(z+2h_a^*+2c^*)m$	$\infty$
中心距	$a$	$a=(d_1+d_2)/2$	$a=(d_1-d_2)/2$	$\infty$
基圆直径	$d_b$	$d_b=d\cos\alpha$		$\infty$
齿距	$p$	$p=\pi m$		
齿厚	$s$	$s=\pi m/2$		
齿槽宽	$e$	$e=\pi m/2$		

**【例 8-2】** 已知一正常齿制的标准直齿圆柱齿轮，齿数  $z_1=20$ ，模数  $m=2\text{mm}$ ，拟将该齿轮作为某外啮合传动的主动齿轮，现须配一从动齿轮，要求传动比  $i=3.5$ ，试计算从动齿轮的几何尺寸及两轮的中心距。

**解：**根据给定的传动比  $i$ ，可计算从动轮的齿数

$$z_2=iz_1=3.5\times 20=70$$

已知齿轮的齿数  $z_2$  及模数  $m$ ，由表 8-2 所列公式可以计算从动轮各部分尺寸。

分度圆直径  $d_2=mz_2=2\times 70=140\text{mm}$

齿顶圆直径  $d_{a2}=(z_2+2h_a^*)m=(70+2\times 1)\times 2=144\text{mm}$

齿根圆直径  $d_{f2}=(z_2-2h_a^*-2c^*)m=(70-2\times 1-2\times 0.25)\times 2=135\text{mm}$

全齿高  $h=(2h_a^*+c^*)m=(2\times 1+0.25)\times 2=4.5\text{mm}$

中心距  $a=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{m}{2}(z_1+z_2)=\frac{2}{2}\times(20+70)=90\text{mm}$

### 8.3.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动

#### 1. 正确啮合条件

为保证齿轮传动时各齿对之间能平稳传递运动,在齿对交替过程中不发生冲击,必须符合正确啮合条件。

一对渐开线齿轮的正确啮合条件为:两齿轮的模数必须相等;两齿轮分度圆上的压力角必须相等。

这样,一对齿轮的传动比可写成

$$i=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{d_2'}{d_1'}=\frac{d_2}{d_1}=\frac{z_2}{z_1} \quad (8-8)$$

#### 2. 标准中心距

正确安装的渐开线齿轮,理论上应为无齿侧间隙啮合,即一齿轮节圆上的齿槽宽与另一齿轮节圆齿厚相等。标准齿轮正确安装时齿轮的分度圆与节圆重合,啮合角 $\alpha'=\alpha=20^\circ$ 。

一对外啮合齿轮的中心距为

$$a=\frac{d_1'+d_2'}{2}=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{m}{2}(z_1+z_2)$$

一对内啮合齿轮的中心距为

$$a=\frac{d_2'-d_1'}{2}=\frac{d_2-d_1}{2}=\frac{m}{2}(z_2-z_1)$$

由于渐开线齿廓具有可分性,两轮中心距略大于正确安装中心距时仍能保持瞬时传动比恒定不变,但齿侧出现间隙,反转时会有冲击。

#### 3. 连续传动条件

若要一对渐开线齿轮连续不断地传动,就必须使前一对齿终止啮合之前后续的一对齿及时进入啮合。如图 8-28 所示为一对互相啮合的齿轮。设齿轮 1 为主动,齿轮 2 为从动。开始啮合时,主动齿轮 1 的齿根部分与从动齿轮 2 的齿顶部分在  $K'$  点开始接触。随着两齿轮继续啮合转动,啮合点的位置沿啮合线  $N_1N_2$  向下移动,齿轮 2 齿廓上的接触点由齿顶向齿根移动,而齿轮 1 齿廓上的接触点则由齿根向齿顶移动。当两齿廓的啮合点移至  $K$  点时,则两齿廓啮合终止。

由此可见,线段  $\overline{KK'}$  为啮合点的实际轨迹,故  $\overline{KK'}$  称为实际啮合线段。因基圆内无渐开线,故线段  $\overline{N_1N_2}$  为理论上可能的最大啮合线段,所以被称为理论啮合线段。

显然,要保证一对渐开线齿轮连续不断地啮合传动,必须使前一对轮齿尚未在  $K$  点脱离啮合之前,后一对轮齿及时到达  $K'$  点进入啮合。要保证这一点必须使  $\overline{KK'} \geq P_b$ , 即实际啮合线段必须大于或等于齿轮的基圆齿距。这就是连续传动的条件,通常我们把这个条件用  $\overline{KK'}$  与  $P_b$



的比值表示,称为重合度,用 $\varepsilon$ 表示。即

$$\varepsilon = \frac{KK'}{P_b} \geq 1 \quad (8-9)$$

重合度越大,表明同时参与啮合的轮齿对数越多,每对齿分担的载荷就越小,运动越平稳。由于制造齿轮时齿廓必然有少量的误差,故设计齿轮时必须使实际啮合线段比基圆齿距大,即重合度大于1。重合度主要与齿数 $z$ 、齿顶高系数 $h_a^*$ 、压力角 $\alpha$ 有关,当取 $h_a^*=1$ , $\alpha=20^\circ$ , $z=12\sim\infty$ 时, $\varepsilon=1.699\sim1.982$ 。

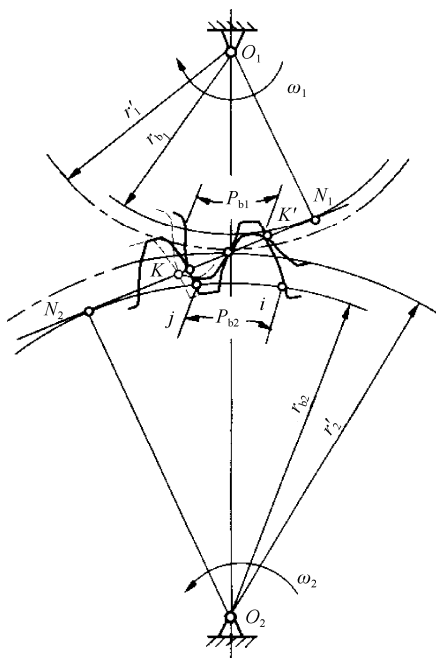


图 8-28 齿轮连续传动条件

## 8.4 螺旋传动机构

螺旋传动由螺杆和螺母组成,主要用来将旋转运动变换为直线运动。按其螺旋副(又称螺纹副)中摩擦性质的不同一般分为两类:螺旋副做相对运动时产生滑动摩擦的滑动螺旋传动;螺旋副做相对运动时产生滚动摩擦的滚动螺旋传动。

### 1. 螺旋传动机构的组成和类型

螺旋传动按其用途和受力情况分为如下三类。

(1) 传力螺旋。它主要用来传递轴向力,要求用较小的力矩转动螺杆(或螺母)而使螺母(或螺杆)产生直线移动和较大的轴向力,如螺旋千斤顶(见图 8-29)和螺旋压力机的螺旋等。

(2) 传导螺旋。它主要用来传递轴向力,要求具有较高的传动

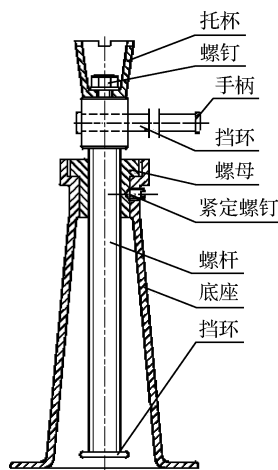


图 8-29 螺旋千斤顶

精度，如车床刀架和进给机构的螺旋等。

(3) 调整螺旋。它主要用来调整和固定零件或工件的相互位置，不经常传动，受力也不大，如车床尾座和卡盘头的螺旋等。

这些螺旋传动一般采用梯形螺纹、锯齿形螺纹或矩形螺纹，其主要特点是结构简单，运转平稳无噪声，便于制造，易于自锁，但传动效率较低，摩擦和磨损较大等。

## 2. 滚动螺旋传动

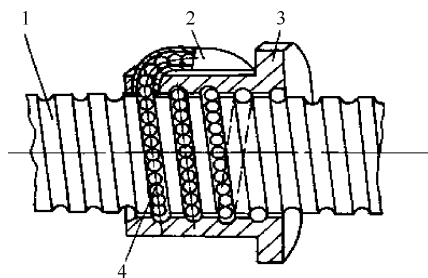
### 1) 滚珠丝杠副的组成及特点

如图 8-30 所示，滚珠丝杠副主要由丝杠 1、螺母 3、滚珠 4 和反向器 2 组成。在丝杠外圆和螺母内孔上分别开出断面呈半圆形的螺旋槽，丝杠与螺母内孔用间隙配合，两构件上的螺旋槽配合成断面呈圆形的螺旋通道，在此通道中充入钢珠就使两构件连接起来，构成滚动螺旋装置或称滚珠丝杠副。滚珠丝杠副螺旋面的摩擦为滚动摩擦。为防止滚珠从滚道端部掉出和保证滚珠做纯滚动，还设置有滚珠回程引导装置（又称反向器），使滚珠得以返回入口形成循环滚动。

滚珠丝杠副螺旋面之间为滚动摩擦，具有摩擦阻小、效率高、轴向刚度大、运动平稳、传动精度高、寿命长等突出特点。它早已在汽车和拖拉机的转向机构中得到应用。目前在要求高效率和高精度的场合广泛应用，如飞机机翼和起落架的控制、水闸的升降机构和数控机床进给装置等。应该注意到滚珠丝杠副逆传效率高（可达到 80% 以上）、不自锁对使用带来的影响。例如，用普通丝杠副提吊重物在半途暂停时因普通丝杠副的自锁使重物不会靠重力自动下移，但换成滚珠丝杠副就要采取措施防止重物自动下移。

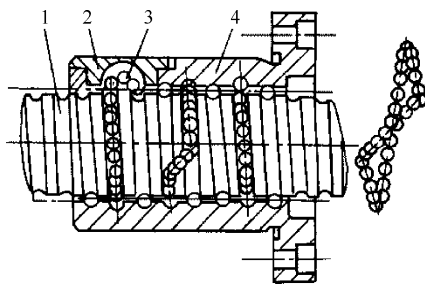
### 2) 滚珠丝杠副的典型结构类型

(1) 滚珠的循环方式。分为内循环和外循环两种。外循环方式的滚珠返回时离开丝杠螺纹滚道，在螺母的体内或体外循环滚动，根据滚珠返回的结构分为螺旋槽式、插管式（见图 8-30）、端盖式三种。内循环方式的滚珠在整个循环过程中始终与丝杠表面接触，如图 8-31 所示，其特点是滚珠循环回程短使流畅性好，效率高，螺母径向尺寸小，但反向器加工困难，装配不便。



1—丝杠；2—反向器；3—螺母；4—滚珠

图 8-30 滚珠丝杠副的组成原理



1—丝杠；2—反向器；3—滚珠；4—螺母

图 8-31 滚珠的内循环结构

(2) 螺纹滚道型面的形状及主要尺寸。如图 8-32 所示，螺纹滚道有单圆弧形 [见图 8-32 (a)] 和双圆弧形 [见图 8-32 (b)] 两种。图中  $\beta$  称为接触角，是滚道型面在滚珠接触点的法线与丝杠横断面的夹角，一般取  $\beta=45^\circ$ 。单圆弧形具有加工容易、精度高、价格低等优点，但具有润滑效果稍差和工作中接触角  $\beta$  变化等缺点。双圆弧形的接触角  $\beta$  不变，润滑效果好，但存在加工和检验麻烦，价格高等缺点。

### 3) 滚珠丝杠副的主要尺寸参数

滚珠丝杠副的主要尺寸参数如图 8-33 所示, 在 GB/T 17587.2—1998 (等效于国际标准 ISO/DIS 3408-2—1991) 中对公称直径和基本导程已做了规定。

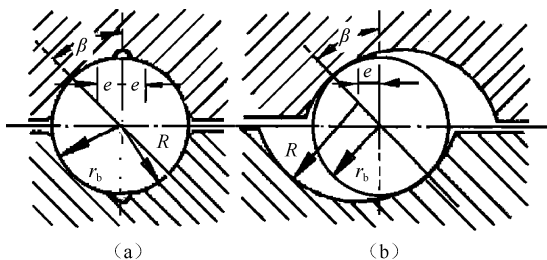


图 8-32 螺纹滚道型面的形状及主要尺寸

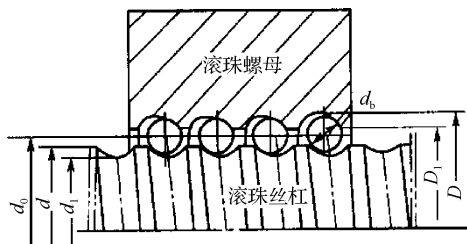


图 8-33 滚珠丝杠副的主要尺寸参数

(1) 公称直径  $d_0$ 。指滚珠与螺纹滚道在理论接触角状态时包络滚珠中心的圆柱直径。系列尺寸: 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200 (单位: mm)。

(2) 基本导程  $l_0$ 。丝杠相对于螺母转过一周时螺母基准点的轴向位移。系列尺寸: 1, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40 (单位: mm)。

(3) 行程  $l$ 。丝杠相对于螺母转过某一任意角度时螺母基准点的轴向位移。

(4) 滚珠直径  $d_b$ 。一般取  $d_b \approx 0.610\text{mm}$ 。

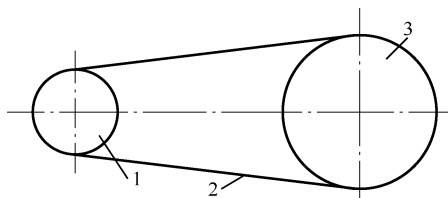
此外，还有丝杠螺纹大径  $d$ 、小径  $d_1$  和螺纹全长  $l_s$ 、螺母螺纹大径  $D$  和小径  $D_1$  等。

## 8.5 挠性传动

挠性传动是广泛应用的一种传动形式，它是借助于挠性元件（带、绳、链条等）来传递运动和动力的。图 8-34 所示为挠性传动的工作原理图。当主动轮旋转时，通过挠性元件间接地将运动和动力传递给从动轮。

这类传动具有吸收振动载荷及阻尼振动影响的作用，所以传动平稳，而且结构简单，易于制造，常用于中心距较大情况下的传动。在情况相同的条件下，与其他传动相比，简化了机构，降低了成本。

挠性传动在医疗器械产品设计中多有应用。



1—主动轮；2—挠性元件；3—从动轮

图 8-34 挠性传动的工作原理图

### 8.5.1 带传动

### 1. 带传动的组成和工作原理

带传动是一种常用的机械传动装置，带传动利用带作为中间挠性件，依靠带与带轮接触面间产生的摩擦力来传递运动和动力，主要作用是传递转矩和转速。大部分带传动是依靠挠性传动带与带轮间的摩擦力来传递运动和动力的，是挠性摩擦传动中应用较普遍的传动形式之一。

摩擦型带传动中，带必须以一定的张紧力  $F_0$ （又称初拉力）紧套在两带轮上，使带与带轮

接触面间具有一定的正压力,如图 8-35 (a) 所示。当原动机驱动主动带轮回转时,带与带轮接触面上便产生摩擦力。正是依靠这种摩擦力,主动带轮牵动了带,带又牵动从动带轮,从而传递运动和转矩。

啮合型带传动如图 8-35 (b) 所示,带的内侧和带轮外缘均制作有齿。工作时,依靠带齿与带轮齿的啮合来传递运动和动力。这种传动无滑动,能保持主、从动带轮圆周速度相等,达到同步而称为同步带传动。

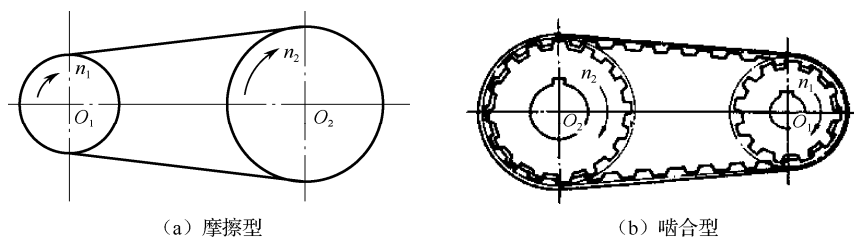


图 8-35 带传动的工作原理

## 2. 带传动的类型和传动形式

带传动多为摩擦型,啮合型仅有同步带传动一种。

按传动带的截面形状不同,摩擦型带传动可分为平带(矩形截面)传动、V带(梯形截面)传动、多楔带(多楔形截面)传动和圆形带(圆形截面)传动,如图 8-36 (a) ~ (d) 所示。

平带传动靠带的底面与带轮表面之间的摩擦力(属平面摩擦)传递动力,平带的厚度小,挠性好,带轮也容易制造,带的磨损较轻,效率较高。

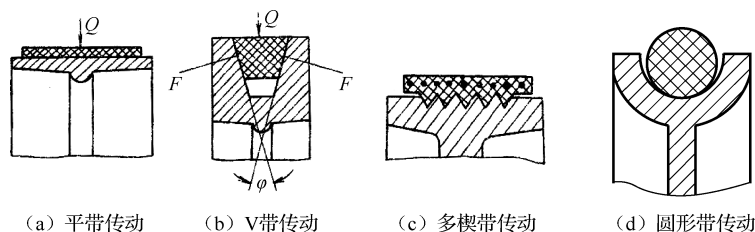


图 8-36 摩擦型带传动类型

V带传动靠带的两侧面与带轮轮槽侧面之间的摩擦力(属楔面摩擦)传递动力,带的厚度较大,挠性较差,带轮制造较复杂。但与平带传动相比,在同样张紧力下,V带传动能产生更大的摩擦力,因而在相同条件下能传递更大的功率,或在传递相同功率时传动结构尺寸较紧凑。此外,V带传动允许的传动比较大,加之V带多已标准化并大量生产,故在一般机械传动中,V带传动已基本取代了平带传动而成为最常用的带传动装置。

多楔带兼有平带挠性好、V带工作面摩擦力大的优点,并解决了多根V带传动中因带长不一而使各根带受力不均的问题。多楔带传动主要用于传递功率较大而结构要求紧凑的场合,传动比可达 10,带速可达 40m/s。

圆形带传动仅用于载荷很小的场合,如仪表、缝纫机、牙科医疗器械等的带传动。

## 3. 带传动的特点及应用范围

带传动采用挠性带作为中间元件,来传递主、从动轮间的运动和转矩,与齿轮传动相比,

其优点是：易于实现两轴中心距较大的传动；带富有弹性，能缓冲吸振，因而传动平稳无噪声；结构简单，制造、安装、维护方便，成本低；摩擦型带传动过载时，带会在带轮上打滑，可防止其他机件损坏，起过载保护作用。

其缺点是：外廓尺寸大，不紧凑；传动效率低，平带传动一般为 0.95，V 带传动一般为 0.92；带的寿命较短，一般仅 2000~3000h，为易损件；摩擦型带传动因带与带轮间存在相对滑动，而不能保证准确的传动比。

工程中的带传动以摩擦型带传动应用较多，尤以 V 带传动应用最广。这类带传动多用于传递功率不大（ $\leq 50\text{kW}$ ）、带速适中（ $5\sim 30\text{m/s}$ ）、传动比不要求精确而传动距离较大的场合，且在多级减速传动装置中常将其配置于高速级。

与摩擦型带传动相比，同步带传动具有传动比恒定、传动效率高、结构紧凑的特点，主要用于中小功率、传动比要求精确的场合，如电影放映机、绘图机、打印机等精密机械中。

#### 4. 带传动的几何参数计算

带传动的主要几何参数有：带轮直径  $D_1$  和  $D_2$ 、中心距  $a$ 、包角  $\alpha$ （带与带轮接触弧所对的中心角）及带长  $L_d$ 。如图 8-37 所示的开式传动，主要几何尺寸计算式有：

(1) 小带轮包角  $\alpha_1$ ， $\alpha_1 = 180^\circ - 2\beta$ ，因  $\beta$  很小，可取  $\beta \approx \sin\beta = \frac{D_2 - D_1}{2a} \times \frac{180^\circ}{\pi}$ ，故

$$\alpha_1 \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{a} \times 57.3^\circ \quad (8-10)$$

(2) 带长  $L_d$   $L_d = \widehat{AB} + \widehat{CD} + 2\overline{BC} \approx 2a + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4a}$  (8-11)

(3) 中心距  $a$  由式 (8-11) 可得

$$a = \frac{2L_d - \pi(D_1 + D_2) + \sqrt{[2L_d - \pi(D_1 + D_2)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} \quad (8-12)$$

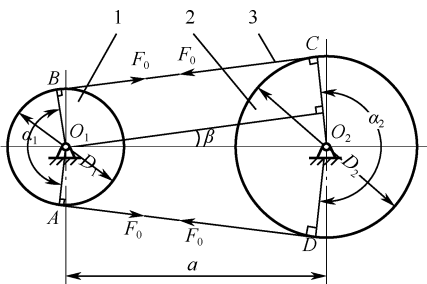


图 8-37 带传动的几何关系

## 8.5.2 链传动

### 1. 链传动的组成和工作原理

链传动由安装在平行轴上的主、从动轮和绕在链轮上的环形链条组成，如图 8-38 所示。以链作为中间挠性件，靠链与链轮轮齿的啮合来传递运动和动力。

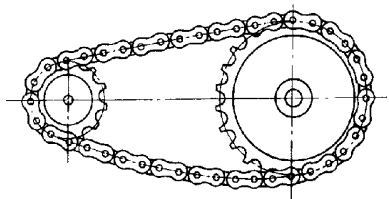


图 8-38 链传动简图

与带传动比，链传动无弹性滑动和打滑现象，能保证准确的平均传动比；传动效率高，可达 0.98；链不需要像带那样很紧地张紧在带轮上，作用在轴上的压力较小；能在恶劣的环境下（如高温、灰尘多、有油污等）工作；但链传动的瞬时链速和瞬时传动比不是常数，因此传动平稳性较差，工作中有一定的冲击和噪声。

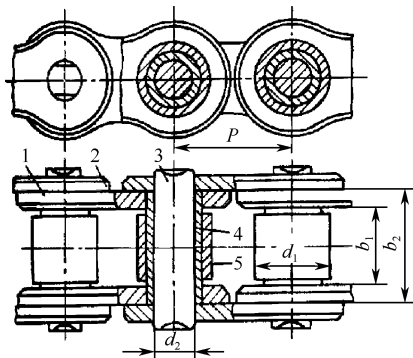
链传动主要用于工作可靠、两轴相距较远、工作条件恶劣的场合，如矿山机械、农业机械、石油机械、机床及摩托车、自行车中。

## 2. 滚子链和链轮

### 1) 滚子链的结构和标准

滚子链由内链板 1、外链板 2、销轴 3、套筒 4 和滚子 5 组成，如图 8-39 所示。内链板与套筒、外链板与销轴均为过盈配合，而套筒与销轴、滚子与套筒均为间隙配合。当链条啮入和啮出时，内、外链板做相对转动，同时滚子沿轮齿滚动，可减少链条与轮齿的磨损。内、外链板均做成“∞”字形，以减轻重量并保持各横截面的强度大致相等。

链条中的各零件由碳素钢或合金钢制成，并经过热处理，以提高其强度和耐磨性。相邻两滚子中心间的距离称为链条的节距，用  $P$  表示。它是链条的主要参数，节距越大，链条各零件的尺寸也越大。滚子链可制成单排或多排链， $P_t$  为排距。为避免各排链受载不均，排数不宜过多，常用双排或三排链。



1—内链板；2—外链板；3—销轴；4—套筒；5—滚子

图 8-39 滚子链的结构图

### 2) 链轮

链轮齿形如图 8-40 所示，按国标规定，用标准刀具加工，只需给出链轮的节距  $P$ 、齿数  $Z$  和链轮的分度圆直径  $d$ 。

链轮齿应具有足够的强度和耐磨性，故齿面多经热处理。小链轮的啮合次数比大链轮多，所受冲击力也大，所用材料一般优于大链轮，重要的链轮可采用合金钢。

链轮的结构如图 8-41 所示，小直径链轮可制成实心式 [见图 8-41 (a)]；中等直径的链轮可制成孔板式 [见图 8-41 (b)]；直径较大的链轮可设计成组合式，如轮毂和齿圈焊在一起 [见图 8-41 (c)] 或用螺栓连接 [见图 8-41 (d)]，若轮齿因磨损而失效，可更换齿圈。

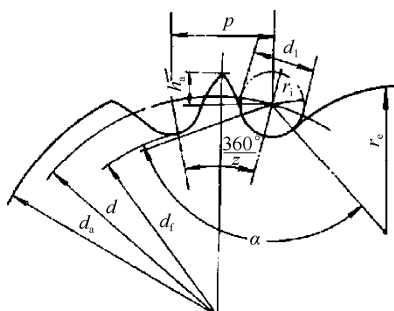


图 8-40 滚子链链轮端面齿形

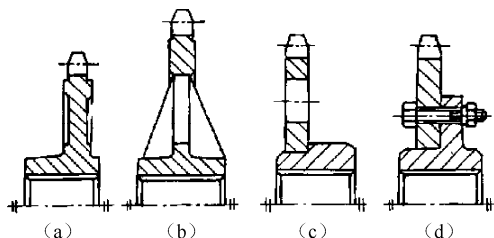


图 8-41 链轮的结构

链传动的运动情况和绕在 polygon 轮子上的带很相似, 如图 8-42 所示。多边形边长相当于链节距  $p$ , 边数相当于链轮的齿数  $z$ 。链轮每转过一周, 链条转过的长度为  $pz$ , 当两链轮的转速分别为  $n_1$  和  $n_2$  时, 链条的平均速度为

$$v = \frac{z_1 p n_1}{60 \times 1000} = \frac{z_2 p n_2}{60 \times 1000} \quad (\text{m/s}) \quad (8-13)$$

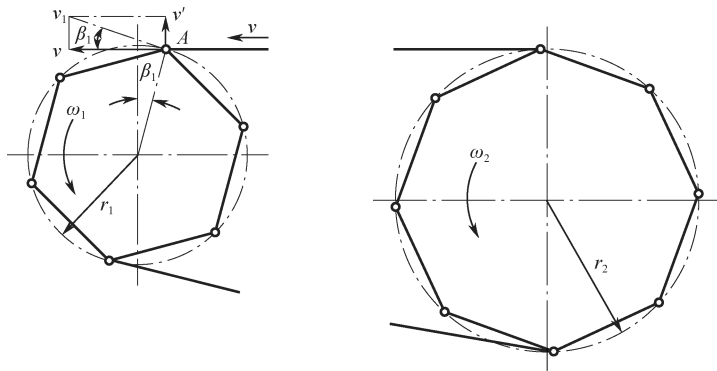


图 8-42 链传动运动分析

由上式得链传动的平均传动比为

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (8-14)$$

虽然链传动的平均速度和平均传动比不变, 但它们的瞬时值却是周期性变化的。为便于分析, 设链的紧边(主动边)在传动时总处于水平位置, 图 8-42 中 A 铰链已进入啮合, 主动轮以角速度  $\omega_1$  回转, 其圆周速度  $v_1 = r_1 \omega_1$ , 将其分解为沿链条前进方向的分速度  $v$  和垂直方向的分速度  $v'$ , 则

$$v = v_1 \cos \beta_1 = r_1 \omega_1 \cos \beta_1 \quad (8-15)$$

$$v' = v_1 \sin \beta_1 = r_1 \omega_1 \sin \beta_1 \quad (8-16)$$

式中,  $\beta_1$  为主动轮上铰链 A 的圆周速度方向与链条前进方向的夹角。

当链节依次进入啮合时  $\beta_1$  角在  $\pm 180^\circ / z_1$  范围内变动, 从而引起链速  $v$  相应做周期性变化。当  $\beta_1 = \pm 180^\circ / z_1$  时, 链速最小,  $v_{\min} = r_1 \omega_1 \cos(180^\circ / z_1)$ ; 当  $\beta_1 = 0^\circ$  时, 链速最大,  $v_{\max} = r_1 \omega_1$ 。故即使  $\omega_1$  为常数, 链轮每送走一个链节, 其链速  $v$  也经历“最小—最大—最小”的周期性变化。同理, 链条在垂直方向的速度  $v'$  也做周期性变化, 使链条上下抖动。

用同样的方法对从动轮进行分析可知, 从动轮角速度  $\omega_2$  也是变化的, 故链传动的瞬时传

动比 ( $i_{12}=\omega_1/\omega_2$ ) 也是变化的。链速和传动比的变化使链传动中产生加速度, 从而产生附加动载荷、引起冲击振动, 故链传动不适合高速传动。为减小动载荷和运动的不均匀性, 链传动应尽量选取较多的齿数  $z_1$  和较小的节距  $p$  (这样可使  $\beta_1$  减小), 并使链速在允许的范围内变化。

## 复习与思考

1. 根据图 8-43 中注明的尺寸, 判别各四杆机构的类型。

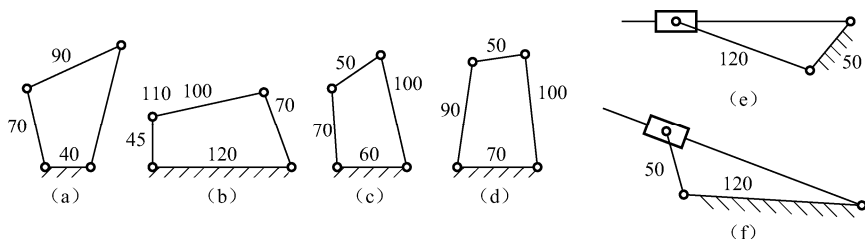


图 8-43 平面四杆机构

2. 试写出图 8-44 所示凸轮机构的名称, 并在图上作出行程  $h$ , 基圆半径  $r_b$ , 凸轮转角  $\delta_0$ 、 $\delta_s$ 、 $\delta'_s$  及  $A$ 、 $B$  两处的压力角。

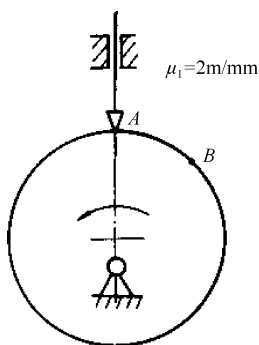


图 8-44 凸轮机构

3. 带传动有哪些类型? 有哪些特点? 它们各自的工作原理是什么?
4. 齿轮渐开线上都有哪些常用参数? 哪些参数随着渐开线上点的位置而改变, 哪些参数是不随位置改变的?
5. 渐开线直齿轮正确啮合最根本的条件是什么?
6. 棘轮机构有几种类型? 各有什么特点? 适用于什么场合?
7. 什么是螺旋传动? 常用的螺旋传动有哪几种?
8. 链传动的特点有哪些? 链传动适用于什么场合?



## 第9章

# 医疗器械常用零部件

### 9.1 弹性元件

材料在外力作用下会产生变形，外力去除后可恢复其原状的特性称为材料的弹性。用材料的弹性完成各种功能的零件或部件称为弹性元件。

#### 9.1.1 弹性元件的功用和分类

##### 1. 弹性元件的主要功用

- (1) 测力——例如在简单牵引设备中的测力装置等。
- (2) 产生振动——例如在减肥设备中的支承弹簧等。
- (3) 储存能量——例如生化分析仪取样臂的防撞机构等。
- (4) 缓冲和吸振——例如轮椅的减振弹簧和各种缓冲器中的弹簧。
- (5) 控制机械运动——例如汽缸的阀门弹簧和离合器中的控制弹簧。
- (6) 改变机械的自振频率——例如用于电机和压缩机的弹性支座。
- (7) 消除空回和配合间隙——例如各种微动装置中用以消除空回的压缩弹簧。

## 2. 弹性元件的分类

### 1) 按结构特点分类

可分为五类，如图 9-1 所示。



图 9-1 弹性元件按结构特点分类

- (1) 片簧：金属薄片制成的片状弹性元件。
- (2) 平卷簧：带材绕制成的平面螺旋形弹性元件。
- (3) 螺旋弹簧：金属材料制成的空间螺旋形弹性元件。
- (4) 波纹管：圆柱形薄壁筒制成的带有环状波纹的弹性元件。
- (5) 膜片：圆形薄片制成的弹性元件。

### 2) 根据所承受的载荷分类

分为拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧和弯曲弹簧。

### 3) 根据使用的弹性材料分类

分为金属弹簧（圆柱螺旋弹簧）及非金属弹簧（橡胶弹簧、空气弹簧）。

### 4) 按照用途分类

- (1) 测量弹性元件：用来把某些物理量（如力、压力、温度等）转变成弹性元件的变形，以便进行测量，如测量气体、液体压力的膜盒（由两片对扣在一起的膜片组成）。
- (2) 力弹性元件：用来作为传动系统的能源或者完成结构的力封闭。

## 9.1.2 螺旋弹簧

螺旋弹簧是用金属线材绕制成空间螺旋线形状的弹性元件。

### 1. 螺旋弹簧的形式

- (1) 拉伸弹簧——L 型，承受沿轴向的拉力作用，如图 9-2 所示。
- (2) 压缩弹簧——Y 型，承受沿轴向的压力作用，如图 9-3 所示。



图 9-2 拉伸弹簧



图 9-3 压缩弹簧

(3) 扭转弹簧——N 型，承受绕轴线的扭转力矩的作用，如图 9-4 所示。

## 2. 螺旋弹簧的常用符号和单位

(1) 材料直径：也叫线径，用字母  $d$  表示，单位：mm。

(2) 中径：弹簧外径和内径的平均值，用字母  $D$  表示，单位：mm。

(3) 外径：弹簧外部卷制尺寸，用字母  $D_2$  表示，单位：mm。

(4) 内径：弹簧内部卷制尺寸，用字母  $D_1$  或 ID 表示，单位：mm。

(5) 节距：弹簧两相邻有效圈截面中心线的轴向距离，用字母  $t$  表示，单位：mm。

(6) 绕旋比：弹簧中径与钢丝直径的比值，用字母  $C$  表示， $C=D/d$ 。

(7) 自由高度：Free length 是指在没有负荷时的高度，用字母  $H_0$  表示，单位：mm。

(8) 工作高度：Work length 是指在承受负荷时的高度，用字母  $H_i$  表示 ( $i=1,2,3\cdots$ )，单位：mm。

(9) 展开长度：弹簧材料展开的总长度，用字母  $L$  表示，单位：mm。

(10) 螺旋角：弹簧圈卷制的角度，用  $\alpha$  表示，单位： $^{\circ}$ 。

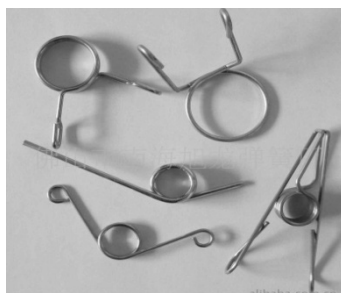


图 9-4 扭转弹簧

## 3. 螺旋弹簧的材料和许用应力

### 1) 螺旋弹簧的材料

螺旋弹簧要求材料具备高的弹性极限、疲劳极限、一定的冲击韧性、塑性和良好的热处理性能。选用的材料有优质碳素弹簧钢、合金弹簧钢和有色金属合金。充分考虑载荷条件（载荷的大小及性质、工作温度和周围介质的情况）、功用及经济性等因素。一般应优先采用碳素弹簧钢丝。

### 2) 螺旋弹簧的许用应力

螺旋弹簧按载荷分为三类，其常用材料及许用应力见表 9-1。

I 类弹簧：受变载荷作用次数  $>10^6$ ，或很重要的弹簧。

II 类弹簧：受变载荷作用次数为  $10^3 \sim 10^5$ ，或受冲击载荷的弹簧，或受静载荷的重要弹簧。

Ⅲ类弹簧：受变载荷作用次数 $<10^3$ ，或受静载荷的弹簧。

表 9-1 弹簧常用材料及其许用应力

名 称	组 别	许用切应力 [ $\tau$ ] (MPa)			许用弯曲应力 [ $\sigma_b$ ] (MPa)		切变 模量 $G$ (MPa)	弹性模量 $E$ (MPa)	推荐 硬度 (HRC)	推荐 使用 温度 (℃)	特性及用途
		弹簧类别			弹簧类别						
		I 类	II 类	III类	II 类	III类					
碳素弹 簧钢丝	I 组, II、 II a 组, III组	0.3 $\sigma_B$	0.4 $\sigma_B$	0.5 $\sigma_B$	0.5 $\sigma_B$	0.625 $\sigma_B$	0.5 $\leq d \leq 4$ 81400~	0.5 $\leq d \leq 4$ 203000~		-40 ~ +120	强度高, 韧 性好, 适用于 做小弹簧
特殊用 途碳素 弹簧钢 丝	甲组、乙 组、丙组						$d > 4$ 78500	$d > 4$ 196000			
硅锰合 金弹簧 钢丝		471	628	785	785	981	78500	196000	45~ 50	-40 ~ +200	弹性好, 回 火稳定性好, 易脱碳, 用于 制造大载荷 弹簧

4. 螺旋弹簧的设计计算

普通圆柱螺旋弹簧的主要几何尺寸有：外径  $D_2$ 、中径  $D$ 、内径  $D_1$ 、节距  $p$ 、螺旋升角  $\alpha$  及弹簧丝直径  $d$ 。由图 9-5 可知，它们的关系为

$$\alpha=\arctan \frac{p}{\pi d}$$

(9-1)

式中，螺旋升角  $\alpha$  一般应在  $5^{\circ} \sim 9^{\circ}$  范围内选取。弹簧的旋向可以左旋或右旋，无特殊要求时为右旋。普通圆柱螺旋压缩及拉伸弹簧的结构尺寸计算公式如表 9-2 所示，计算出的弹簧丝直径及中径  $D$  按 GB/T 1358—1993（查询机械设计手册）数值取整。

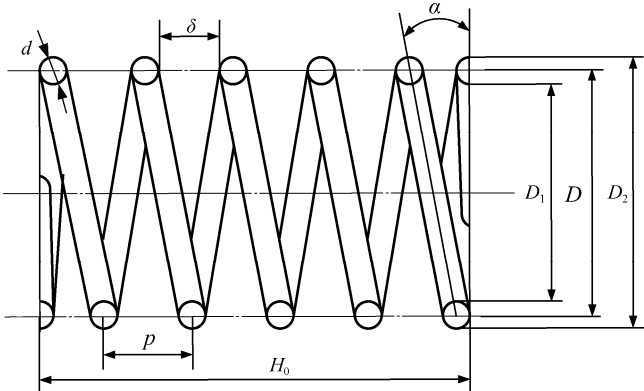


图 9-5 圆柱螺旋弹簧几何尺寸参数

表 9-2 螺旋拉压弹簧结构尺寸计算公式

参数名称及代号	计 算 公 式		备 注
	压 缩 弹 簧	拉 伸 弹 簧	
$d$	$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{KCF_{\max}}{[\tau]}}$		
中径 $D_2$	$D_2 = C_d$		按 GB/T 1358—1993 取标准值
内径 $D_1$	$D_1 = D_2 - d$		
外径 $D$	$D = D_2 + d$		
旋绕比 $C$	$C = D_2 / d$		
曲度系数 $K$	$K = \frac{0.615}{C} + \frac{4C-1}{4C-4}$		圆截面弹簧可按此式算
压缩弹簧长细比 $b$	$b = H_0 / D_2$		$b$ 在 1~5.3 的范围内选取
自由高度或长度 $H_0$	$H_0 \approx pn + (1.5 \sim 2)d$ (两端并紧, 磨平) $H_0 \approx pn + (3 \sim 3.5)d$ (两端并紧, 不磨平)	$H_0 = n_d + \text{钩环轴向长度}$	
工作高度或长度 $H_1, H_2, \dots, H_n$	$H_n = H_0 - \lambda_n$	$H_n = H_0 + \lambda_n$	$\lambda_n$ 为工作变形量
有效圈数 $n$	$n = \frac{Gd}{8F_{\max} C^3} \lambda_{\max}$		$n \geq 2$ , $G$ 查表 9-1
弹簧变形量 $\lambda$	$\lambda = \frac{8FC^3 n}{Gd}$		
总圈数 $n_1$	$n_1 = n + (2 \sim 2.5)$ (冷卷) $n_1 = n + (1.5 \sim 2)$ (YII 型热卷)	$n_1 = n$	拉伸弹簧 $n_1$ 尾数为 1/4、1/2、3/4 整圈。推荐用 1/2 圈
节 距 $p$	$p = (0.28 \sim 0.5)D_2$		
轴向间距 $\delta$	$\delta = p - d$		
展开长度 $L$	$L = \pi D_2 n_1 / \cos \alpha$	$L \approx \pi D_2 n + \text{钩环展开长度}$	
螺旋角 $\alpha$	$\alpha = \arctan(p / \pi D_2)$		对压缩螺旋弹簧, 推荐 $\alpha = 5^\circ \sim 9^\circ$
质量 $m_s$	$m_s = \frac{\pi d^2}{4} L T$		$\gamma$ 为材料的密度, 对各种钢, $\gamma = 7700 \text{kg/m}^3$ ; 对铍青铜, $\gamma = 8100 \text{kg/m}^3$

【例 9-1】一种步态康复器的减重机构用弹簧, 已知需要弹簧四根, 每根弹簧载荷为 229.5N, 承载人的体重假设为 100kg, 脚踏板的重量为 2kg。选型计算其所用弹簧。

解: (1) 选择弹簧材料及许用应力。因为弹簧在一般载荷下工作, 可按照第三类弹簧来考虑, 选择 C 级碳素弹簧钢丝。因人体最大质量为 100kg, 脚踏板质量为 2kg, 则每根弹簧最大载荷  $F_{\max}$  为 250N, 初估算弹簧丝直径为  $d=4\text{mm}$ 。查机械设计表 9-1 和机械设计手册 (GB/T 4357) 可知  $[\tau_T]=0.5\sigma_B$ ,  $\sigma_B=1520\text{MPa}$ , 则  $[\tau_T]=760\text{MPa}$ 。

(2) 计算弹簧丝直径  $d$ 。根据表 9-3 选定  $C=8$ , 并根据表 9-2 中的公式, 可得

$$K = \frac{0.615}{C} + \frac{4C-1}{4C-4} \approx 1.184$$

表 9-3 常用旋绕比  $C$  值

$d(\text{mm})$	0.2~0.4	0.45~1	1.1~2.2	2.5~6	7~16	18~42
$C=D_2/d$	7~14	5~12	5~10	4~9	4~8	4~6

则  $d \geq 1.6 \sqrt{\frac{KCF_{\max}}{[\tau]}} \approx 2.82\text{mm}$ , 查询 GB/T 1358—1993 取离 2.82 最近的标准值 3mm。

$$D=Cd=8 \times 3=24\text{mm}$$

$$D_2=D+d=24+3=27\text{mm}$$

(3) 计算弹簧的有效工作圈数  $n$ 。查表 9-1 得  $G=80000\text{MPa}$ , 设  $\lambda_{\max}=70$ , 并计算弹簧工作圈数为

$$n = \frac{Gd}{8F_{\max}C^3} \lambda_{\max} = \frac{80000 \times 3 \times 70}{8 \times 250 \times 8^3} \approx 16.4$$

取弹簧工作圈数  $n=17$ 。

(4) 验算弹簧行程。最小载荷与最大载荷相应的变形量为

$$\lambda_{\min} = \frac{8F_{\min}C^3n}{Gd} = \frac{8 \times 4.9 \times 8^3 \times 17}{80000 \times 3} \approx 1.422\text{mm}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{8F_{\max}C^3n}{Gd} = \frac{8 \times 250 \times 8^3 \times 17}{80000 \times 3} \approx 72.533\text{mm}$$

弹簧行程为:  $\lambda_0 = \lambda_{\max} - \lambda_{\min} = 72.533 - 1.422 = 71.111\text{mm}$

(5) 计算弹簧其余几何尺寸。

弹簧节距:  $p=0.4D=0.4 \times 24=9.6\text{mm}$ ;

弹簧螺旋升角:  $\alpha = \arctan \frac{p}{\pi D} = \arctan \frac{9.6}{3.14159 \times 30} \approx 5.711^\circ$ ;

弹簧总圈数:  $n_0=n+2=19$ ;

弹簧丝间距:  $\delta=p-d=9.6-3=6.6\text{mm}$ ;

弹簧的自由长度:  $H_0 \approx pn + (1.5 \sim 2)d = 9.6 \times 17 + 1.6 \times 3 = 168\text{mm}$ 。

## 9.2 轴承与导轨

### 9.2.1 轴承

轴承主要用于支承轴及轴上零件, 保持轴的旋转精度及减小转子在旋转过程中的摩擦和磨损。根据摩擦性质可将轴承分为滑动轴承和滚动轴承。滑动轴承主要用于高速、重载荷、大冲击、高精度场合, 医疗器械不常使用, 本节不做详细介绍, 重点介绍滚动轴承。

前置 代号	基 本 代 号					后置代号（组）							
	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
成套轴 承分部 件	类型 代号	尺寸系列代号		内径代号		内部 结构	密封与 防尘套 圈变型	保持架 及其材 料	轴承 材料	公差 等级	游隙	配置	其他
		宽度系 列代号	直径系 列代号										

1) 基本代号

基本代号用来表明轴承的内径、直径系列、宽度系列和类型，一般最多为五位数，现分述如下：

(1) 轴承内径用基本代号右起第一、二位数字表示。对常用内径  $d=20\sim480\text{mm}$  的轴承内径一般为 5 的倍数，这两位数字表示轴承内径尺寸被 5 除得的商数，如 04 表示  $d=20\text{mm}$ ；12 表示  $d=60\text{mm}$  等。对于内径为 10mm、12mm、15mm 和 17mm 的轴承，内径代号依次为 00、01、02 和 03。对于内径小于 10mm 和大于 500mm 的轴承，内径表示方法另有规定，可参看 GB/T 272—1993。

(2) 轴承的直径系列（即结构相同、内径相同的轴承在外径和宽度方面的变化）用基本代号右起第三位数字表示。直径代号有 7、8、9、1、2、3、4、5，对应于相同内径的轴承，其外径依次递增。

(3) 轴承的宽度系列（即结构、内径和直径系列都相同的轴承宽度方面的变化系列）用基本代号右起第四位数字表示。宽度系列代号有 8、0、1、2、3、4、5、6，对多数轴承在代号中可不标出宽度系列代号 0，但对于调心滚子轴承和圆锥滚子轴承，宽度系列代号 0 应标出。

直径系列代号和宽度系列代号统称为尺寸系列代号。

(4) 轴承类型代号用基本代号右起第五位数字表示，其表示方法见表 9-5。

表 9-5 常用轴承基本类型代号

轴 承 类 型	代 号	轴 承 类 型	代 号
调心球轴承	1	角接触球轴承	7
调心滚子轴承	2	推力滚子轴承	8
圆锥滚子轴承	3	推力圆锥滚子轴承	9
双列深沟球轴承	4	圆柱滚子轴承	N
推力球轴承	5	滚针轴承	NA
深沟球轴承	6	外球面球轴承	U

2) 后置代号

轴承的后置代号是用字母和数字等表示轴承的结构、公差及材料的特殊要求等。后置代号的内容很多，下面介绍几个常用的代号。

(1) 内部结构代号用于表示同一类型轴承的不同内部结构，用字母紧跟着基本代号表示。例如，接触角为  $15^\circ$ 、 $25^\circ$  和  $40^\circ$  的角接触球轴承分别用 C、AC 和 B 表示内部结构的不同。

(2) 轴承的公差等级分为 2 级、4 级、5 级、6 级、6X 级和 0 级，共 6 个级别，依次由高级到低级，其代号分别为 P2、P4、P5、P6（或 P6x）和 P0。公差等级中，6X 级仅适用于圆锥滚子轴承；0 级为普通级，在轴承代号中不标出。



### 3) 前置代号

轴承的前置代号用于表示轴承的分部件,用字母表示。如用 L 表示可分离轴承的可分离套圈;K 表示轴承的滚动体与保持架组件等。

实际应用的滚动轴承类型是很多的,相应的轴承代号也是比较复杂的。以上介绍的代号是轴承代号中最基本、最常用的部分,熟悉了这部分代号,就可以识别和查选常用的轴承。关于滚动轴承详细的代号方法可查阅 GB/T 272—1993。

## 4. 滚动轴承的选型

轴承选型时,主要依据其工作条件、转速、调心性能、安装与拆卸、经济性等条件。

### 1) 工作条件

#### (1) 载荷方向:

- 若承受纯径向载荷,宜选用向心轴承,如深沟球轴承“6”、圆柱滚子轴承“N”或滚针轴承“NA”。
- 只承受纯轴向载荷:选推力轴承,如“5”。
- 既承受径向载荷  $F_r$  又承受轴向载荷  $F_a$  的,若  $F_a/F_r$  较小,选用深沟球轴承“6”或接触角  $\alpha$  较小的角接触球轴承“7”或圆锥滚子轴承“3”;若  $F_a/F_r$  较大,则选用  $\alpha$  较大的角接触球轴承“7”、圆锥滚子轴承“3”。

#### (2) 载荷大小和性质:

- 载荷较小(中等、轻载)且平稳,宜选用球轴承(点接触)。
- 载荷较大,有冲击、振动时,宜选用滚子轴承(线接触)。

### 2) 转速

转速不太高时,对轴承类型的选择影响不大,每一类轴承都通过实验确定了在一定条件下的极限转速,因此轴承的实际工作转速必须低于极限转速。当球轴承的极限转速较高,高速时,应优先选用球轴承。当轴承转速高、载荷小时,则宜选用较小直径的球轴承;若轴承转速高、载荷大,可采用同一支承同时用两个球轴承。

### 3) 调心性能

当轴的中心与支座孔的中心不同心,或轴因受力变形时,轴承内圈中心线与外圈中心线会产生偏位角  $\theta$ ,容易造成滚动体工作不正常,甚至卡住。这时宜采用有一定调心性能的调心球轴承或调心滚子轴承。

### 4) 安装与拆卸

若进行轴向安装,轴承座没有剖分面时,应优先选用内、外圈可分离的轴承,如圆柱滚子轴承和圆锥滚子轴承。若轴较大,且轴承安装在轴的中部,可采用带锥孔的轴承。

### 5) 经济性

在保证轴承工作性能要求的前提下,为使成本降低,一般优先采用球轴承、向心轴承。(球轴承比滚子轴承的价格低,向心推力轴承价格比向心轴承高。)

## 9.2.2 导轨

导轨的作用是支承和引导运动部件按给定的方向运动。两个做相对运动的部件形成一对导轨副。在导轨副中，运动的一方叫作动导轨，不动的一方叫作支承导轨。导轨按摩擦性质可分为滑动导轨和滚动导轨。

### 1. 滑动导轨

滑动导轨的动、静导轨面直接接触。其优点是结构简单、接触刚度大，缺点是摩擦阻力大、磨损快，低速运动时易产生爬行现象。滑动导轨的基本截面形式有 V 形、矩形、燕尾形和圆形。

(1) V 形导轨磨损后能自动补偿，故导向精度较高。它的截面角度由载荷大小及导向要求而定，一般为  $90^\circ$ ，如图 9-8 所示。

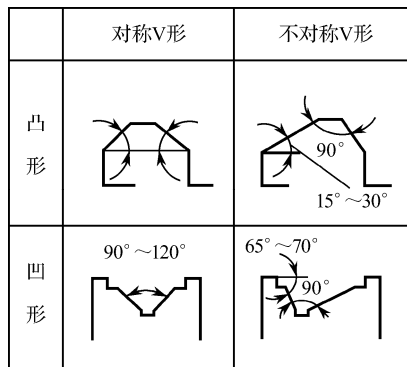


图 9-8 V 形导轨

(2) 矩形导轨结构简单，制造、检验和修理较易。矩形导轨可以做得较宽，因而承载能力和刚度较大，应用广泛。缺点是磨损后不能自动补偿间隙，用镶条调整时，会降低导向精度，如图 9-9 (a) 所示。

(3) 燕尾形导轨的主要优点是结构紧凑、调整间隙方便。缺点是几何形状比较复杂，难以达到很高的配合精度，并且导轨中的摩擦力较大，运动灵活性较差，因此，通常用在结构尺寸较小及导向精度与运动灵活性要求不高的场合，如图 9-9 (b) 所示。

(4) 圆形导轨的优点是导轨面的加工和检验比较简单，易于获得较高的精度。缺点是导轨间隙不能调整，特别是磨损后间隙不能调整和补偿，闭式圆形导轨对温度变化比较敏感，为防止转动，也可在圆柱表面开槽或加工出平面，如图 9-9 (c) 所示。

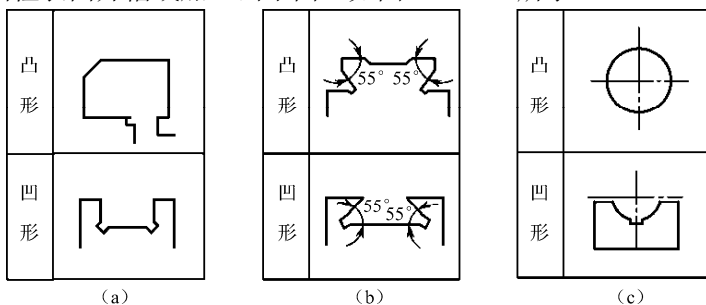


图 9-9 矩形、燕尾形、圆形导轨

## 2. 滑动导轨的组合形式

一条导轨往往不能承受力矩载荷,故通常都采用两条导轨来承受载荷和进行导向。常用滑动导轨的组合形式有双V形组合、双矩形组合、V形和燕尾形组合、双圆组合、圆形和矩形组合等。

(1) 双V形组合中,两条导轨同时起着支承和导向作用,故导轨的导向精度高,承载能力大,两条导轨磨损均匀,磨损后能自动补偿间隙,精度保持性好。但这种导轨的制造、检验和维修都比较困难,因为它要求四个导轨面都均匀接触,如图9-10(a)所示。

(2) 双矩形组合承载能力高,制造简单,间隙受温度影响小,导向精度高,容易获得较高的平行度。但导向面之间的距离较大,侧向间隙受温度影响大,导向精度较矩形和平面形组合差,如图9-10(b)所示。

(3) V形和燕尾形组合成闭式导轨的接触面较小,便于调整间隙。V形导轨起导向作用,导向精度高。加工和测量都比较复杂,如图9-10(c)所示。

(4) 双圆组合的特点是结构简单,圆柱面既是导向面又是支承面,但对两导轨的平行度要求严,导轨刚度较差,磨损后不易补偿,如图9-10(d)所示。

(5) 圆形和矩形组合中矩形导轨可用镶条调整,对圆形导轨的位置精度要求较双圆形组合要求低,如图9-10(e)所示。

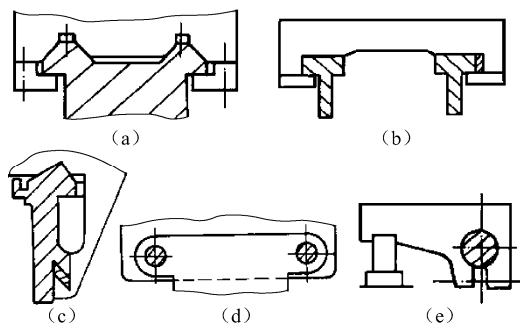


图 9-10 滑动导轨的组合形式

## 3. 滚动导轨

滚动导轨是在运动部件和支承部件之间放置滚动体(滚珠、滚柱、滚动轴承等),使导轨运动时处于滚动摩擦状态。与滑动导轨相比,滚动导轨具有摩擦系数小,运动灵便,不易出现爬行现象,导向和定位精度高,磨损较小,寿命长,润滑简便的优点。但其结构较为复杂,加工困难,成本较高,且对脏物及导轨面的误差比较敏感。

### 1) 滚动导轨的类型

滚动导轨按滚动体形式的不同,可分为滚珠导轨、滚柱导轨、滚针导轨等。

(1) 滚珠导轨的结构特点为点接触,摩擦阻力小,承载能力较差,刚度低,其结构紧凑、制造容易、成本较低。通过合理设计滚道圆弧可大幅度降低接触应力,提高承载能力。滚珠导轨一般适用于运动部件质量小于 200kg 的场合,其结构如图 9-11 所示。

(2) 滚柱导轨的滚动体与导轨之间是线接触, 承载能力较同规格滚珠导轨高一个数量级, 刚度高。滚柱导轨对导轨面的平面度敏感, 制造精度要求比滚珠导轨高, 适用于载荷较大的设备, 其结构如图 9-12 所示。

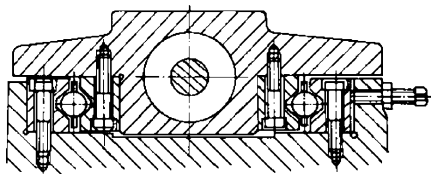


图 9-11 滚珠导轨

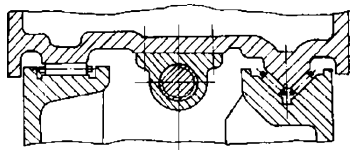


图 9-12 滚柱导轨

(3) 滚针导轨的滚针尺寸小, 结构紧凑, 承载能力大, 刚度高。对导轨面的平面度更敏感, 对制造精度的要求更高。摩擦因数较大, 适用于导轨尺寸受限制的场合, 其结构如图 9-13 所示。

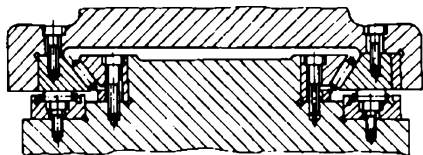


图 9-13 滚针导轨

## 2) 滚动导轨的安装

滚动导轨通常是两条成对使用, 可以水平安装, 也可以竖直或倾斜安装。有时也可以多个导轨平行安装, 当长度不够时可以多根接长安装。为保证两条(或多条)导轨平行, 通常把一条导轨作为基准导轨, 安装在设备的基准面上, 底面和侧面都有定位面, 另一条导轨为非基准导轨, 设备上没有侧向定位面, 固定时以基准导轨为定位面固定。这种安装形式称单导轨定位。单导轨定位易于安装, 容易保证平行, 对床身没有侧向定位面平行的要求。

当振动和冲击较大, 精度要求较高时, 两条导轨的凹面都要定位, 称双导轨定位。双导轨定位要求定位面平行度高。当用调整垫调整时, 对调整垫的加工精度要求较高, 调整难度较大。

## 9.3 轴、联轴器和离合器

### 9.3.1 轴

#### 1. 轴的用途与分类

轴是组成机器的主要零件之一, 一切回转运动的传动零件都必须安装在轴上才能传递运动和动力。轴的主要作用是支承做回转运动的零件(齿轮、蜗轮、带轮、链轮等)及传递运动和动力。

按照承载不同, 轴可分为转轴、心轴和传动轴三类。工作中既承受弯矩, 又传递扭矩的为转轴; 只承受弯矩, 不传递扭矩的为心轴; 只传递扭矩, 不承受弯矩的为传动轴, 如图 9-14 所示。

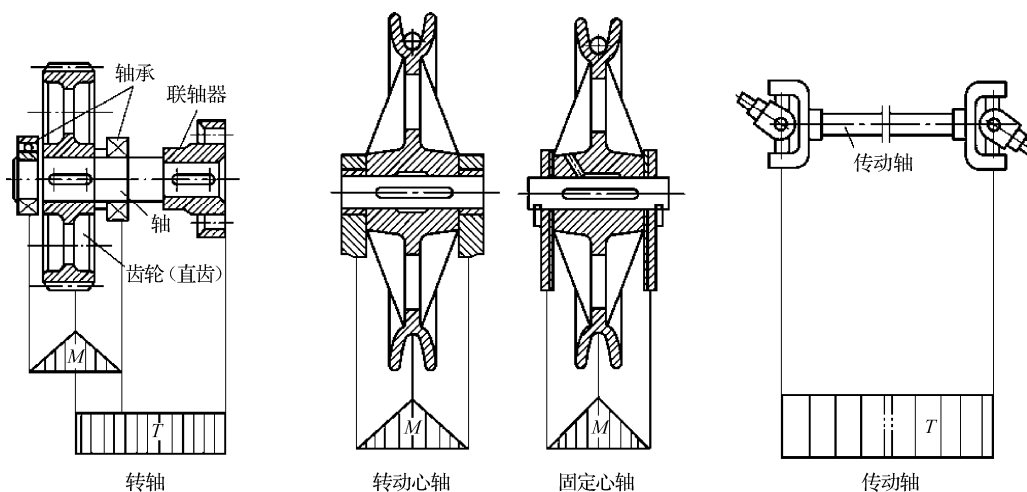


图 9-14 按承受载荷分类

按照轴线形状的不同，轴可分为曲轴和直轴两大类。曲轴可通过连杆将旋转运动改变为往复直线运动。直轴根据外形不同又可分为光轴、阶梯轴和空心轴。光轴形状简单、易加工，但不利于轴上零件的装配和定位，主要用作心轴和传动轴；阶梯轴与光轴相反，主要用作转轴，如图 9-15 所示。

此外，还有一种软轴，是一种由多组钢丝分层卷绕而成的挠性轴，可以把回转运动灵活地传到狭小空间位置，如图 9-16 所示。

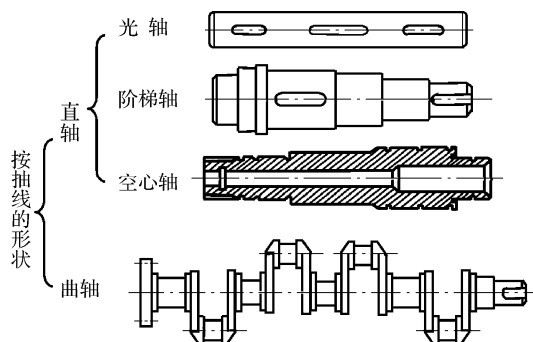


图 9-15 按轴线形状分类

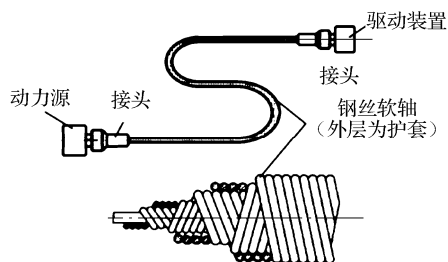


图 9-16 软轴

## 2. 轴的材料

轴的材料主要是碳钢和合金钢。碳钢价格低廉，对应力集中的敏感性低，可用热处理或化学处理提高耐磨性和抗疲劳强度，最常用的为 45 号钢。合金钢比碳钢具有更高的机械性能和更好的淬火性能。在传递大动力，并要求减小尺寸与质量，提高轴颈的耐磨性，以及在高温或低温条件下工作的轴，采用合金钢。

需要指出的是，在一般工作温度下（低于 200℃），各种碳钢和合金钢的弹性模量相差不大，所以不能用合金钢提高轴的刚度。在选择钢的种类和热处理方法时，应根据强度和耐磨性，而不是刚度。但在既定条件下，有时也采用强度较低的钢材适当增大轴的截面面积的办法来提高轴的刚度。表 9-6 中列出了轴的常用材料及其主要力学性能。

表 9-6 轴的常用材料及其主要力学性能

材料牌号及热处理	毛坯直径 (mm)	硬度 HBS	强度 极限 (MPa)	屈服 极限 (MPa)	弯曲疲劳极限 (MPa)	应用说明
Q235			440	240	200	用于不重要或载荷不大的轴
35 正火	≤100	149~187	520	270	250	有好的塑性和适当的强度，可做一般的曲轴和转轴
45 正火	≤100	170~217	600	300	275	用于较重要的轴，应用最为广泛
45 调质	≤200	217~255	650	360	300	
40Cr 调质	25		1000	800	500	用于载荷较大且无很大冲击的重要轴
	≤100	241~286	750	550	350	
	100~300	241~266	700	550	340	
40MnB 调质	25		1000	800	485	性能接近于 40Cr，用于重要的轴
	≤200	241~286	750	500	335	
35CrMo 调质	≤100	207~269	750	550	390	用于重载荷的轴
20Cr 渗碳淬火回火	15	表面 HRC 56~62	850	550	375	用于要求强度、韧性及耐磨性均较高的轴
	≤60		650	400	280	

3. 轴的结构设计

轴的结构主要与下列因素有关：载荷的性质、大小、方向及分布情况；轴上零件的数目和布置情况；零件在轴上的定位及固定方法；轴承的类型及尺寸；轴的加工工艺及装配方法等。下面讨论轴的设计中要解决的几个主要问题。

1) 确定轴的基本结构

轴的典型结构如图 9-17 所示，轴和轴承配合的部分称为轴颈，其直径应符合轴承内径标准；轴上安装轮毂的部分称为轴头，其直径应与相配零件的轮毂内径一致。

2) 轴上零件的轴向定位及固定

轴上零件的轴向定位和固定方式常用的有轴肩、轴环、锁紧挡圈、套筒、圆螺母和止动垫圈、弹性挡圈、轴端挡圈及圆锥面等，如图 9-18 所示为轴肩和套筒固定实例。各种固定方式的特点和应用见表 9-7。

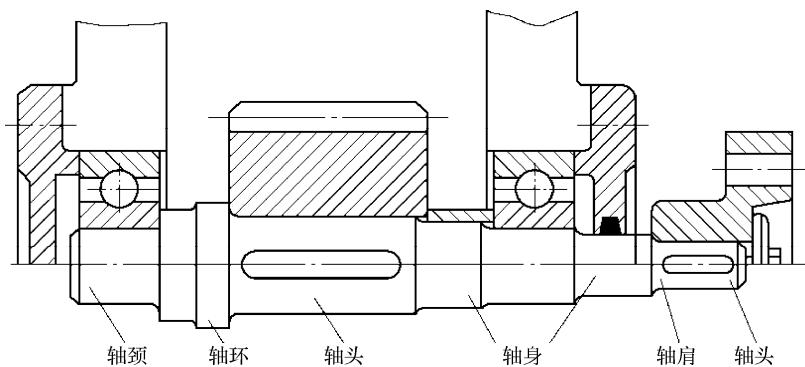


图 9-17 轴的结构

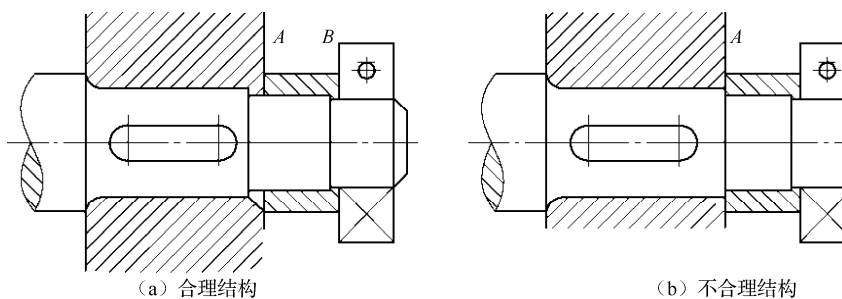
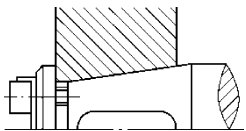
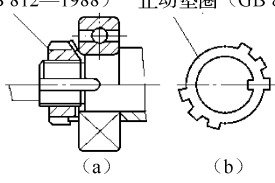
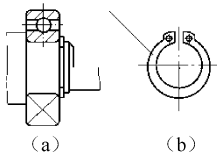


图 9-18 轴肩、套筒固定

表 9-7 轴上零件的轴向固定方法及应用

	轴向固定方法及结构简图	特点和应用	设计注意要点
轴肩与轴环	<p>(a) (b)</p>	<p>简单可靠，不需附加零件，能承受较大的轴向力；广泛用于各种轴上零件固定；该方法会使轴径增大，阶梯处形成应力集中</p>	<p>为保证零件与定位面靠紧，轴上过渡圆角半径 <math>r</math> 应小于零件圆角半径 <math>R</math> 或倒角 <math>C</math>，一般取定位高度 <math>a=(0.07\sim 0.1)d</math>，轴环宽度 <math>b=1.4a</math></p>
套筒		<p>简化了轴的结构且不削弱轴的强度；常用于两个近距离零件间的相对固定；不宜用于高速转轴</p>	<p>套筒内径与轴的配合较松，套筒结构、尺寸可视需要灵活设计</p>
轴端挡圈	<p>轴端挡圈 (GB 891—1986、GB 892—1986)</p>	<p>工作可靠，能承受较大轴向力，应用广泛</p>	<p>只用于轴端；常与轴端挡圈联合使用，实现零件的双向固定</p>

续表

轴向固定方法及结构简图		特点和应用	设计注意要点
锥面		拆装方便，且可兼作周向固定；宜用于高速、冲击及对中性能要求高的场合	只用于轴端，常与轴端挡圈联合使用，实现零件的双向固定
圆螺母	圆螺母（GB 812—1988） 止动垫圈（GB 858—1988） 	固定可靠，能实现轴上零件的间隙调整；常用于轴上两零件间距较大处 [如图（a）所示]，也可用于轴端 [如图（b）所示]	为减小对轴强度的削弱，常用细牙螺纹；为防松，须加止动垫圈或使用双螺母
弹性挡圈	弹性挡圈（GB 894.1—1986、GB 894.2—1986） 	结构紧凑、简单，装拆方便，但受力较小，且轴上切槽将引起应力集中；常用于轴承的固定	轴上车槽尺寸依据 GB 894.1—1986

3) 轴上零件的周向固定

轴上零件周向固定的目的是传递转矩和防止零件与轴产生相对转动。常用的周向定位零件有键、花键、销、紧固螺钉及过盈配合等。

4) 轴的结构工艺性

轴的结构形状和尺寸在尽量满足加工、装配和维修要求的前提下，应力求简单，阶梯数尽可能少。需磨制轴段时，应留砂轮越程槽；需车制螺纹的轴段时，应留螺纹退刀槽，如图 9-19 所示；与零件过盈配合的轴端应加工出导向锥面，如图 9-20 所示；轴的配合直径应圆整为标准值；相近直径轴段的过渡圆角、键槽、越程槽、退刀槽尺寸尽量统一等。

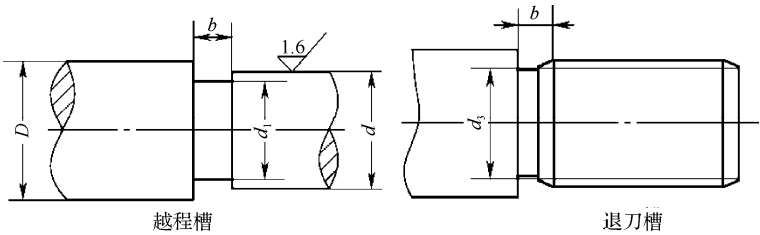


图 9-19 越程槽与退刀槽

5) 提高轴的强度的措施

(1) 改善轴的受载情况。为了减小轴所承受的弯矩，传动件应尽量靠近轴承，并尽可能不采用悬臂的支承形式，力求缩短支承跨距及悬臂长度。

(2) 减少应力集中的措施。为了减少直径突变处的应力集中，提高轴的疲劳强度，应适当增大轴肩处的圆角半径；尽量避免在轴上开横孔、切口或凹槽；重要结构可增加卸载槽、过渡



肩环、凹切圆角。

(3) 改善轴的表面质量提高轴的疲劳强度。轴的表面越粗糙, 疲劳强度越低, 可通过合理减小表面粗糙度值来提高轴的疲劳强度。同时, 也可通过表面热处理、碾压、喷丸等措施提高轴的抗疲劳能力。

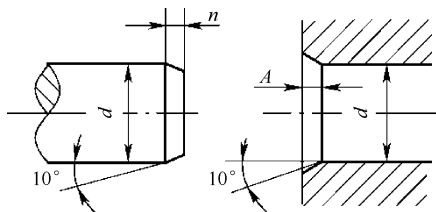


图 9-20 导向锥面

### 9.3.2 联轴器

一般机械都由原动机、传动机和工作机构组成, 这三部分必须连接起来才能工作, 而联轴器就是把它们连接起来的一种重要装置。联轴器主要用于两轴之间的连接, 它也可用于轴和其他零件(卷筒、齿轮、带轮等)之间的连接。其主要任务是传递扭矩。若要使两轴分离, 必须通过停车拆卸才能实现。

联轴器所要连接的轴之间, 由于存在制造、安装误差, 受载受热后的变形及传动过程中会产生振动等因素, 往往存在着轴向、径向、角度等相对位置的偏移, 如图 9-21 所示。所以联轴器除了传动外, 还要有一定的位置补偿和吸振缓冲的功用。

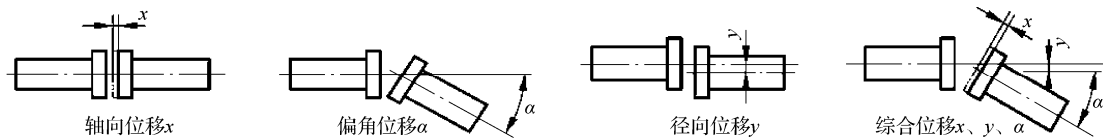


图 9-21 联轴器所连两轴的相对位移

根据联轴器有无弹性元件可分为刚性联轴器和挠性联轴器两大类。刚性联轴器又根据其结构特点分为固定式和可移动式两类, 固定式联轴器要求被连接的两轴中心线严格对中; 而可移动式联轴器允许两轴有一定的安装误差, 对两轴的位移有一定的补偿能力。挠性联轴器视其所具有弹性元件材料的不同, 又可以分为金属弹簧式和非金属弹性元件式两类。挠性联轴器不仅能在一定范围内补偿两轴线间的位移, 还具有缓冲减振的作用。在刚性联轴器中, 又存在固定式和移动式的区别。

#### 1. 刚性联轴器

刚性联轴器无位移补偿能力, 用在被连接两轴要求严格对中及工作中无相对位移之处。刚性联轴器中应用较多的是套筒式和凸缘式, 而凸缘联轴器是应用最多的一种。

##### 1) 套筒式联轴器

这是一类最简单的联轴器, 如图 9-22 所示。这种联轴器是一个圆柱形套筒, 用两个圆锥销、键或螺钉与轴相连接并传递扭矩。此种联轴器没有标准, 需要自行设计。

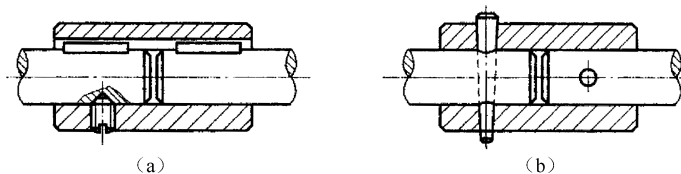


图 9-22 套筒式联轴器

## 2) 凸缘式联轴器

刚性联轴器中使用最多的就是凸缘式联轴器。它由两个带凸缘的半联轴器组成，两个半联轴器通过键分别与两轴相连接，并用螺栓将两个半联轴器连成一体，如图 9-23 所示。按对中方式分为 I 型和 II 型：I 型用凸肩和凹槽对中，并用普通螺栓连接，工作时靠两半联轴器接触面间的摩擦力传递转矩，装拆时需要做轴向移动。II 型用铰制孔螺栓对中，螺栓与孔为略有过盈的紧配合，工作时靠螺栓受剪与挤压来传递转矩，装拆时不需要做轴向移动，但要配铰螺栓孔。凸缘式联轴器的特点是结构简单，价格低廉，使用方便，能传递较大的转矩，但要求被连接的两轴必须安装准确。凸缘式联轴器适用于工作平稳、刚性好和速度较低的场合。凸缘联轴器的尺寸可以按照标准 GB 5843—1986 选用。

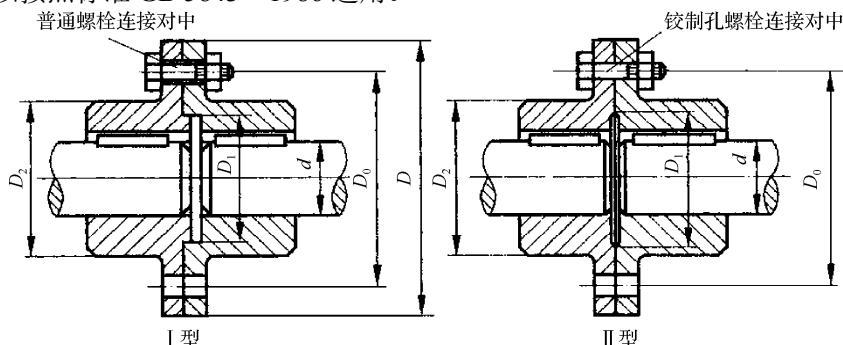


图 9-23 凸缘式联轴器

## 2. 挠性联轴器

挠性联轴器具有一定的补偿被连两轴轴线相对偏移的能力。凡被连两轴的同轴度不易保证的场合，都应选用挠性联轴器。常用的挠性联轴器分为无弹性元件的挠性联轴器、有弹性元件的挠性联轴器。

### 1) 无弹性元件的挠性联轴器

(1) 十字滑块联轴器。十字滑块联轴器由两个具有较宽凹槽的半联轴器和一个中间滑块组成，半联轴器与中间滑块之间可相对滑动，能补偿两轴间的相对位移和偏斜。这种联轴器的特点是结构简单，重量轻，惯性力小，又具有弹性，适用于传递转矩不大、转速较低、无急剧冲击的两轴连接，如图 9-24 所示。因为半联轴器与中间盘组成移动副，不能发生相对转动，故主动轴与从动轴的角速度应相等。在两轴间有相对位移的情况下工作时，中间盘会产生很大的离心力，从而增大动载荷及磨损。因此选用时应注意其工作转速不得大于规定值，一般转速  $n < 250 \text{ r/min}$ 。

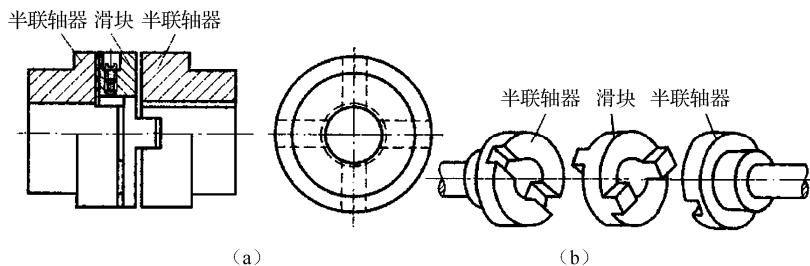


图 9-24 十字滑块联轴器

(2) 滑块联轴器。这种联轴器与十字滑块联轴器相似,只是两半联轴器上的沟槽很宽,并把原来的中间盘改为两面不带凸牙的方形滑块,且通常用夹布胶木制成。由于中间滑块的质量减小,又具有弹性,故允许较高的极限转速。这种联轴器结构简单,尺寸紧凑,适用于小功率、高转速而无剧烈冲击处。

(3) 万向联轴器。万向联轴器用于两轴相交某一角度的传动,两轴的角度偏斜可达  $35^\circ \sim 45^\circ$ 。万向联轴器由两个具有叉状端部的万向接头和十字销组成。这种联轴器有一个缺点,就是当主动轴做等速转动时,从动轴做变角速转动。如果要使它们的角速度相等,则可应用两套万向联轴器,使主动轴与从动轴同步转动。若两轴线不重合,即使主动轴等速转动,而从动轴仍将为周期性的变速转动。双万向联轴器可避免这一缺点。万向联轴器能可靠地传递转矩和运动,结构紧凑,效率高,可用于相交轴间的连接,或有较大角位移的场合,如图 9-25 所示。

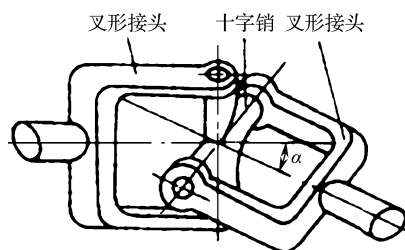


图 9-25 万向联轴器

## 2) 有弹性元件的挠性联轴器

如前所述,这类联轴器因装有弹性元件,不仅可以补偿两轴间的相对位移,而且具有缓冲减振的能力。弹性元件所能储蓄的能量越多,则联轴器的缓冲能力越强;弹性元件的弹性滞后性能与弹性变形时零件间的摩擦功越大,则联轴器的减振能力越好。这类联轴器目前应用很广,品种也越来越多。制造弹性元件的材料有非金属和金属两种。非金属有橡胶、塑料等,其特点为质量小,价格便宜,有良好的弹性滞后性能,因而减振能力强。金属材料制成的弹性元件(主要为各种弹簧)则强度高、尺寸小而寿命较长。

(1) 弹性套柱销联轴器。弹性套柱销联轴器与凸缘联轴器相似,只是用带有非金属(如橡胶)弹性套的柱销取代螺栓,如图 9-26 (a) 所示。靠弹性套的弹性来缓冲减振和补偿两轴偏移,适于启动频繁、载荷变化,但载荷不太大的场合。

(2) 弹性柱销联轴器。弹性柱销联轴器可以看成由弹性套柱销联轴器简化而成,即采用尼龙柱销代替弹性圈和金属柱销,如图 9-26 (b) 所示。为了防止柱销滑出,在柱销两端配置挡圈。其结构简单,安装、制造方便,耐久性好,也有吸振和补偿轴向位移的能力。它常用于轴向窜动量较大、经常正反转、启动频繁、转速较高的场合,可代替弹性套柱销联轴器。

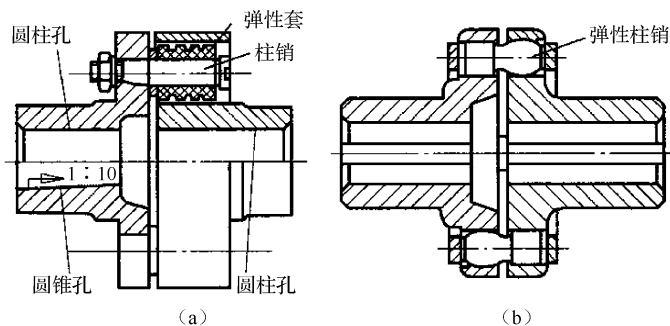


图 9-26 弹性套柱销联轴器与弹性柱销联轴器

### 3. 联轴器的选型

目前,大多数联轴器已经标准化或规格化,一般机械设计者的任务是选用联轴器,不需要设计。选择一种合适的联轴器类型一般考虑以下几点:

- 考虑传递转矩的大小、性质及对缓冲减振的要求;
- 考虑工作转速的高低和引起离心力的大小;
- 两轴相对位移的大小和方向;
- 考虑可靠性和工作环境;
- 联轴器的制造、安装、维护和经济性。

### 9.3.3 离合器

离合器是在传递运动和动力过程中,通过各种操作方式使连接的两轴随时接合或分离的一种机械装置,可用来操纵机器传动系统的启动、停止、变速及换向等。由于离合器是在不停车的状况下进行两轴的接合与分离的,因而离合器应保证离合迅速、平稳、可靠、操纵方便、耐磨且散热好。离合器的类型很多,常用的可分为牙嵌式和摩擦式两大类。

#### 1. 牙嵌式离合器

牙嵌式离合器靠啮合实现传动。它由端面带牙的两半离合器所组成,一个用平键和主动轴连接,另一个用导向键或花键与从动轴相连接。利用操纵系统拨动滑环,使其做轴向移动,实现两套筒的接合与分离。另外,为保证两轴线的对中,在与主轴连接的半离合器中固定有对中环,如图 9-27 所示。牙嵌式离合器结构简单,尺寸较小,工作时牙间无相对滑动,因而可使两轴同步。但接合动作应在两轴不转动或两轴转速差很小时进行,以免凸牙或其他接合元件因受冲击载荷而断裂。

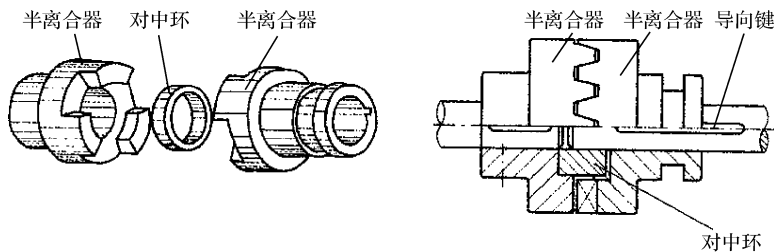


图 9-27 牙嵌式离合器

#### 2. 摩擦式离合器

摩擦式离合器是应用最广也是历史最久的一类离合器,其所能传递的最大转矩取决于摩擦面间的最大静摩擦力矩,而后者又由摩擦面间最大压紧力和摩擦面尺寸及性质决定。故对于一定结构的离合器来说,静摩擦力矩是一个定值,输入转矩一达到此值,离合器就会打滑,因而限制了传动系统所受转矩,防止超载。按其结构形式可将摩擦式离合器分为圆盘式、圆锥式等。圆盘式摩擦离合器又可分为单盘式和多盘式。

### 1) 单圆盘摩擦离合器

图 9-28 所示是单圆盘摩擦离合器的结构图。摩擦式离合器的接触面可以是平面或锥面，在同样的压紧力下，锥面可以传递更大的转矩。与牙嵌式离合器相比，摩擦式离合器可以在两轴任何速度下离合，且接合平稳无冲击，通过调节摩擦面间的压力可以调节所传递扭矩的大小，因而也就具有了过载保护作用。但工作时有可能两摩擦盘之间发生相对滑动，不能保证两轴的精确同步。单圆盘摩擦离合器结构简单，散热性好，但传递的转矩不大。

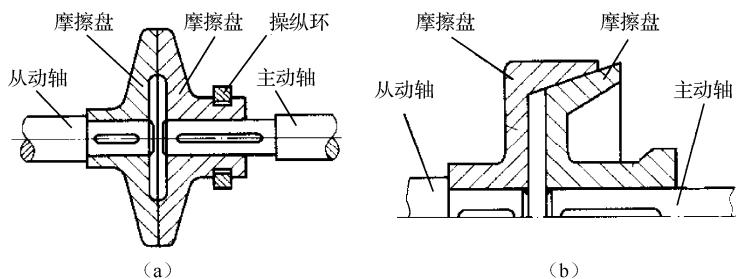


图 9-28 单圆盘摩擦离合器

### 2) 多圆盘摩擦离合器

图 9-29 所示是多圆盘摩擦离合器的结构图。其中，主动轴、外套筒和一组外摩擦片组成主动部分，外摩擦片可以沿外套筒的内槽移动。从动轴、外套筒和一组内摩擦片组成从动部分，内摩擦片可以沿外套筒上的槽滑动。在外套筒上开有均布的三个纵向槽，槽内安装有压杆。当操纵滑环左移时，通过压杆顺时针转动，将两组摩擦片压紧，离合器处于接合状态，主动轴带动从动轴转动。当操纵滑环右移时，通过压杆下面的弹簧片使压杆逆时针转动，两组摩擦片压力消除，离合器处于分离状态。螺母靠调整内、外两组摩擦片的间距，来调整摩擦片之间的压力。碟形摩擦片在离合器分离时能借助其弹性自动恢复原状，有利于内、外摩擦片快速分离。

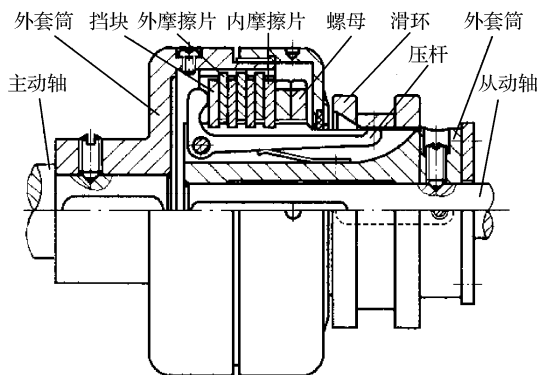


图 9-29 多圆盘摩擦离合器

与牙嵌式离合器相比，摩擦式离合器具有下列优点：

- 在任何不同转速条件下两轴都可以进行接合；
- 过载时摩擦面间将发生打滑，可以防止损坏其他零件；
- 接合较平稳，冲击和振动较小。

摩擦离合器在正常的接合过程中，从动轴转速从零逐渐加速到主动轴的转速，因而两摩擦面间不可避免地会发生相对滑动。这种相对滑动要消耗一部分能量，并引起摩擦片的磨损和发热。

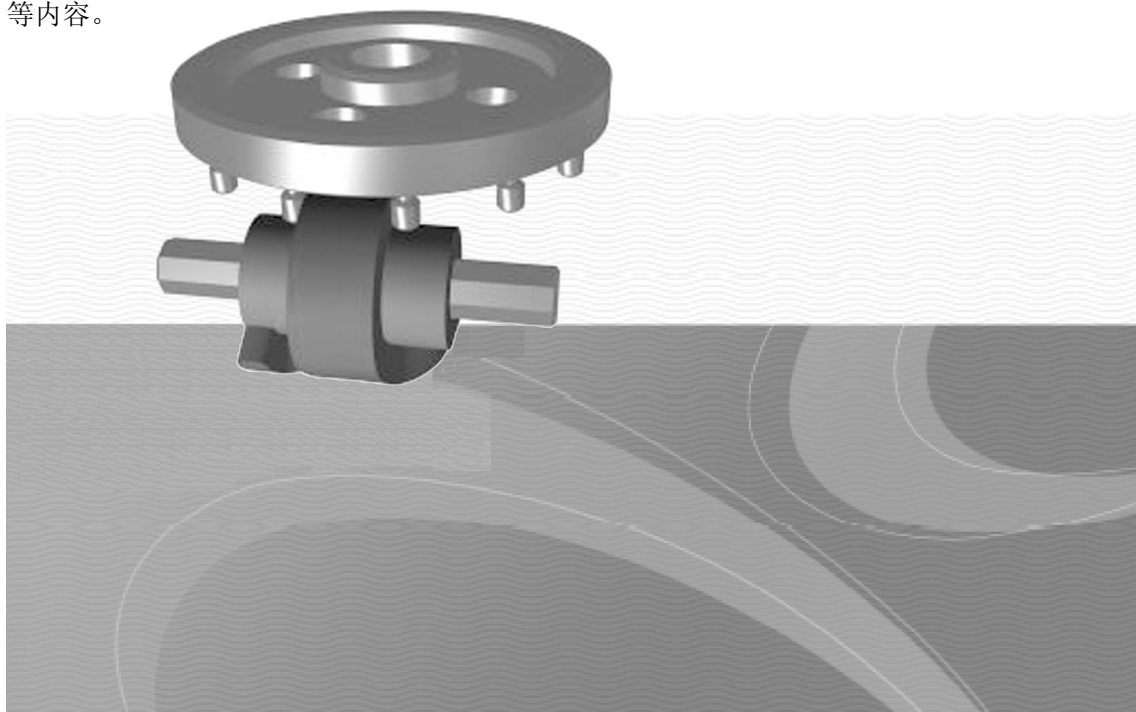
## 复习与思考

1. 为一种臂力康复训练器选择弹簧, 已知最大拉力 500N, 最小拉力 50N, 工作行程 300mm, 弹簧外径不大于 20mm。
2. 轴承的基本代号由哪几部分组成? 各部分的含义是什么?
3. 试说明下列轴承牌号的意义: 6207、63080RS、30207、51301。
4. 轴按受载荷情况可分为哪几类? 分析自行车前轴、中轴、后轴的受力情况, 并说明它们各属于哪类轴。
5. 轴上零件的轴向和周向各有哪些固定方法? 各有什么特点? 用在什么场合?
6. 联轴器和离合器的功用是什么? 两者有何异同?
7. 刚性联轴器与挠性联轴器有何差异? 它们各适用于什么场合?

# 第三篇

## 医疗器械产品的人机工程学设计

人机工程学是跨越生理学、心理学、工业设计、结构设计、人体测量学等多学科，综合运用多学科知识、方法，研究人—机—环境之间关系的一门边缘学科。医疗器械是一种与人的身体健康密切联系的特殊产品，在医疗器械产品设计中理应重视人机工程学的应用，以提升医生在操作医疗器械时的效率和病人使用医疗器械进行诊疗时的满意度。第 10 章介绍人机工程学的意义、人机工程学在医疗器械中的应用、医疗器械设计中常用的人体数据、医疗器械产品设计中人体测量数据的应用原则等内容；第 11 章介绍作业空间设计、医疗器械产品近身操作空间设计、医疗器械产品作业面与作业岗位设计、手工作业岗位和视觉信息作业岗位等内容。



## 第 10 章

# 人机工程学与人体测量

### 10.1 人机工程学的意义

人机工程学是跨越生理学、心理学、工业设计、结构设计、人体测量学等多学科，综合运用多学科知识、方法，研究人一机—环境之间关系的一门边缘学科。在人机工程学研究过程中，会涉及“人和机器的关系”、“人和环境的关系”及“机器和环境的关系”等，如图 10-1 所示。

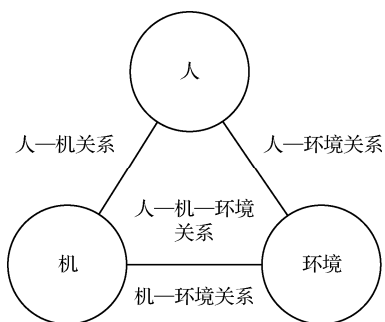


图 10-1 人机工程学研究内容图示

通过人机工程设计的改进和完善，可以有效地提升人们在操作机械时的舒适性、安全性和操作效率。随着科技的发展和人们生活水平的提高，人机工程学受到了越来越多的重视，在工业生产、国防兵器、交通设备、医疗设备、家用产品等领域都发挥着非常重要的作用。



## 10.2 人机工程学在医疗器械设计中的应用

医疗器械和人的身体紧密接触，是一种与人的身体健康密切联系的特殊产品。与一般产品相比，在医疗器械产品设计中理应重视人机工程学的应用，以提升医生在操作医疗器械时的效率和病人使用医疗器械进行诊疗时的满意度。人机工程学在医疗器械造型设计中主要有以下作用：

### 1. 为医疗器械产品的设计提供尺寸参照

医疗器械产品是由医护工作者操作，为患者提供治疗服务的一种特殊产品。为了充分发挥医疗器械的功能，保障“人—机—环境”的顺畅运行，人体的结构和技能特征在设计时应被重点参考，如人体常用尺寸、体积、重量、重心及活动范围等。对于医护工作者来说，由于他们要使用医疗器械产品完成精巧、细致的操作，因此在产品设计时应考虑人的操作范围、出力方向、劳动负荷适应能力及疲劳机制。

### 2. 完善医疗器械产品的“人—机—环境”设计

医疗器械产品的“人—机—环境”设计，包含了医生、患者、医疗设备、操作环境，相比于一般的产品使用情况更加复杂。要使这样一套系统能够流畅地运行，应明确该体系中各要素的功能及关系，如医生如何操作医疗器械，医疗器械如何对患者施加作用，患者如何将治疗效果反馈给医生。在设计过程中，应不断完善“医生—机械—患者—机械—医生”这一系统的运转，达到最好的效果，而人机工程学为该系统的实现提供了理论和方法，如图 10-2 所示为医疗器械产品的“人—机—环境”关系。

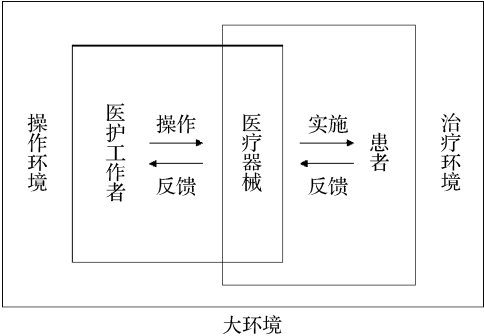


图 10-2 医疗器械产品的“人—机—环境”关系

### 3. 使医疗器械产品的“环境因素”符合人的需要

医疗器械产品要被放置在医疗环境中使用，这和家用产品是有着明显区别的。研究医疗器械使用过程中的环境因素更为复杂，如空间的大小、色彩、行人、噪声等都有可能对医疗器械产品的操作产生影响。同时在医疗器械产品的运转过程当中，其本身还会产生振动、噪声、热量及气味，这些都会对医生和患者产生一定的影响。从保障医护工作者准确、高效地操作，以及患者舒适、健康、安全地享受医疗器械产品服务的角度来说，都应在医疗器械产品设计中加

入人机工程学的考虑,使“环境因素”更好地符合人的需要。

#### 4. 使医疗器械产品的人机界面设计更加合理

医疗器械产品使用中的信息多,且专业性强,医护工作者操作医疗器械时需要快速且精准。医疗器械与患者的人机交互主要是设备作用于人身上时所产生的硬件交互。但是,由于数字化设计的理念逐渐深入到医疗器械产品的设计中,医疗器械的操作界面尤其是医护工作者的操作界面逐渐由传统的硬件界面转变为软件界面。在设计医疗器械产品时,不仅要考虑人机接触的硬件设计还要考虑软件界面设计,使产品的外观、人机交互的硬件和软件相互匹配,成为一个完整的系统,如图 10-3 所示为医疗器械产品的人机交互系统。

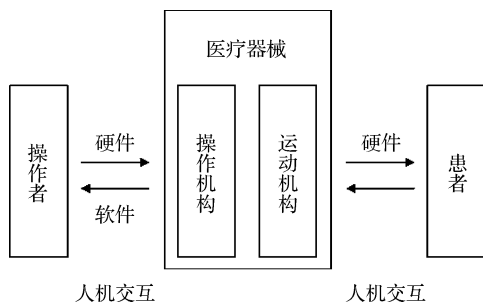


图 10-3 医疗器械产品的人机交互系统

#### 5. 使“以人为本”的设计思想指导医疗器械产品设计

对于设计人员来说设计的对象是产品,但医疗器械产品的目标是为服务,所以医疗器械产品的核心还是“人”。在医疗器械产品设计过程中,以机械设计、工业设计和人机工程学三个学科的共同目标来思考设计,应始终围绕“以人为本”的设计原则,寻找最佳的解决方案。

## 10.3 医疗器械产品设计中常用的人体数据

人体数据是人机工程学的学科基础。关于人体测量的方法和术语,请大家查阅 GB/T 5703—1999《用于技术设计的人体测量基础项目》和 GB/T 13547—1992《工作空间人体尺寸》。

在进行医疗器械产品设计时,必须使医疗器械产品与人体相关的各种装置、机构适于人体的尺寸。因此,作为一名医疗器械产品的设计师,应熟知人们在使用医疗器械时常见的人体姿态及常用的人体数据,比如人体的高度和重量、人体各部分的长度和厚度,以及人体各部分的活动范围等。

需要注意的是,国标中的人体尺寸均为裸体测量得出的数值,在应用于具体的医疗器械产品设计时,应根据具体情况增加适当的余量,例如,人体的身高应考虑鞋跟的增量,胸围、腰围等尺寸要考虑衣物的增量。

10.3.1  人体主要尺寸

由于目前我国尚未实施新的“中国成年人人体尺寸”标准，本书中的人体数据以 1989 年实施的 GB 10000—1988《中国成年人人体尺寸》为标准，这里列出六种常用的人体尺寸数据，包括身高、体重、上臂长、前臂长、大腿长、小腿长，测量部位如图 10-4 所示，中国成年人人体主要尺寸数值如表 10-1、表 10-2 所示。

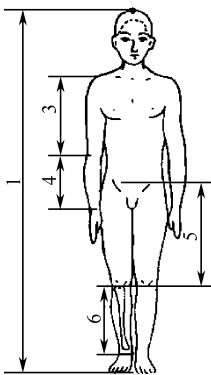


图 10-4  人体主要尺寸测量部位

表 10-1  人体主要尺寸（男）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 身高	1543	1583	1604	1678	1754	1775	1814
2. 体重 (kg)	44	48	50	59	71	75	83
3. 上臂长	279	289	294	313	333	338	349
4. 前臂长	206	216	220	237	253	258	268
5. 大腿长	413	428	436	465	496	505	523
6. 小腿长	324	338	344	369	396	403	419

表 10-2  人体主要尺寸（女）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 身高	1449	1484	1503	1570	1640	1659	1697
2. 体重 (kg)	39	42	44	52	63	66	74
3. 上臂长	252	262	267	284	303	308	319
4. 前臂长	185	193	198	213	229	234	242
5. 大腿长	387	402	410	438	467	476	494
6. 小腿长	300	313	319	344	370	376	390

10.3.2  立姿人体尺寸

人们在日常生活中或使用医疗器械产品时，常见的人体姿势分为坐姿和立姿，对于这两种身体姿态，人们已经进行了较为深入的研究且有翔实的数据供设计时参考。

立姿指被测者挺胸直立，头部以眼耳平面定位，双目平视前方，肩部放松，上肢自然下垂，手伸直，手掌朝向体侧，手指轻贴大腿侧面，膝部自然伸直，左、右足后跟并拢，前端分开，

使两足大致成 45° 夹角，体重均匀分布于两足。为确保立姿姿势正确，被测者应使足后跟、臀部和后背部与同一铅垂面相接触。

国标中的立姿人体尺寸主要包括眼高、肩高、肘高、手功能高、会阴高、胫骨点高六项，所指部位如图 10-5 所示，立姿人体尺寸如表 10-3、表 10-4 所示。

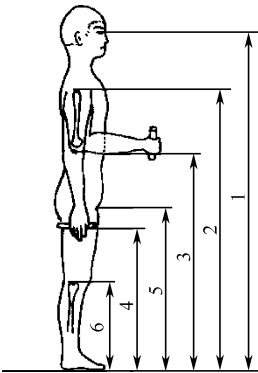


图 10-5 立姿人体尺寸

表 10-3 立姿人体尺寸（男） (mm)

项 目 \ 百分位数	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 眼高	1436	1474	1495	1568	1643	1664	1705
2. 肩高	1244	1281	1299	1367	1425	1455	1494
3. 肘高	925	954	968	1024	1079	1096	1128
4. 手功能高	656	680	693	741	787	801	828
5. 会阴高	701	728	741	790	840	856	887
6. 胫骨点高	394	409	417	444	472	481	498

表 10-4 立姿人体尺寸（女） (mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 眼高	1337	1371	1388	1454	1522	1541	1579
2. 肩高	1166	1195	1211	1271	1333	1350	1385
3. 肘高	873	899	913	960	1009	1023	1050
4. 手功能高	630	650	662	704	746	757	778
5. 会阴高	648	673	686	732	779	792	819
6. 胫骨点高	363	377	384	410	437	444	459

10.3.3 坐姿人体尺寸

被测者挺胸坐在被调节到腓骨头高度的平面上，头部以眼耳平面定位，双目平视前方，左右大腿大致平行，膝大致屈成直角，足平放于地面上，手轻放在大腿上。为确保坐姿正确，被测者的臀部、后背部应靠在同一铅垂面上。

国标中的立姿人体尺寸主要包括坐高、坐姿颈椎点高、坐姿眼高、坐姿肩高、坐姿肘高、坐姿大腿厚等 11 项，所指部位如图 10-6 所示，立姿人体尺寸如表 10-5、表 10-6 所示。

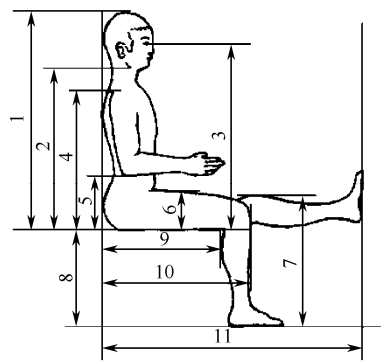


图 10-6 坐姿人体尺寸

表 10-5 坐姿人体尺寸（男）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 坐高	836	858	870	908	947	958	979
2. 坐姿颈椎点高	599	615	624	657	691	701	719
3. 坐姿眼高	729	749	761	798	836	847	868
4. 坐姿肩高	539	557	566	598	631	641	859
5. 坐姿肘高	214	228	235	263	291	298	312
6. 坐姿大腿厚	103	112	116	130	146	151	160
7. 坐姿膝高	441	456	464	493	523	532	549
8. 小腿加足高	372	383	389	413	439	448	463
9. 坐深	405	421	429	458	486	493	510
10. 臀膝距	497	514	523	554	586	595	611
11. 坐姿下肢长	889	919	934	991	1045	1064	1095

表 10-6 坐姿人体尺寸（女）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 坐高	789	809	819	855	891	901	920
2. 坐姿颈椎点高	563	579	587	617	648	657	675
3. 坐姿眼高	678	695	704	739	773	783	803
4. 坐姿肩高	504	518	526	556	585	594	609
5. 坐姿肘高	201	215	223	251	277	284	299
6. 坐姿大腿厚	107	113	117	130	146	151	160
7. 坐姿膝高	410	424	431	458	485	493	507
8. 小腿加足高	331	342	350	382	399	405	417
9. 坐深	388	401	408	433	461	469	485
10. 臀膝距	481	495	502	529	561	570	587
11. 坐姿下肢长	826	851	865	912	960	975	1005

10.3.4 人体水平尺寸

人体水平尺寸是设计医疗器械产品时的重要参考尺寸，如图 10-7 所示为人体水平尺寸的测量位置，国标中的人体水平尺寸数值如表 10-7、表 10-8 所示。

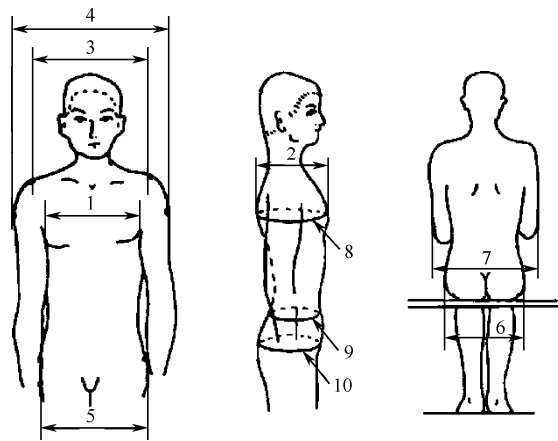


图 10-7 人体水平尺寸

表 10-7 人体水平尺寸（男） (mm)

项 目 \ 百分位数	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 胸宽	242	253	259	280	307	315	331
2. 胸厚	176	186	191	212	237	245	261
3. 肩宽	330	344	351	375	397	403	415
4. 最大肩宽	383	398	405	431	460	469	486
5. 臀宽	273	282	288	306	327	334	346
6. 坐姿臀宽	284	295	300	321	347	355	369
7. 坐姿两肘间宽	353	371	381	422	473	489	518
8. 胸围	762	791	806	867	944	970	1018
9. 腰围	620	650	665	735	859	895	960
10. 臀围	780	805	820	875	948	970	1009

表 10-8 人体水平尺寸（女） (mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 胸宽	219	233	239	260	289	299	319
2. 胸厚	159	170	176	199	230	239	260
3. 肩宽	304	320	328	351	371	377	387
4. 最大肩宽	347	363	371	397	428	438	458

续表

百分位数 项    目	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
5. 臀宽	275	290	296	317	340	346	360
6. 坐姿臀宽	295	310	318	344	374	382	400
7. 坐姿两肘间宽	326	348	360	404	460	478	509
8. 胸围	717	745	760	825	919	949	1005
9. 腰围	622	659	680	772	904	950	1025
10. 臀围	795	824	840	900	975	1000	1044

10.3.5  人体头部尺寸

头部的尺寸在设计医疗器械产品时也是一项重要的参考尺寸，尤其是在设计头戴式医疗设备时，如图 10-8 所示为人体头部尺寸的测量位置，国标中的人体头部尺寸数值如表 10-9、表 10-10 所示。

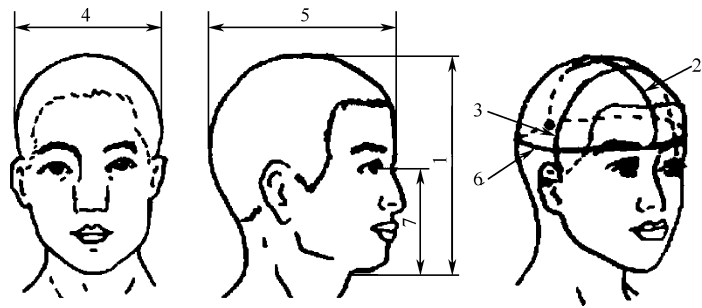


图 10-8  人体头部测量部位

表 10-9  人体头部尺寸（男）(mm)

百分位数 项    目	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 头全高	199	206	210	223	237	241	249
2. 头矢状弧	314	324	329	350	370	375	384
3. 头冠状弧	330	338	344	361	378	383	392
4. 头最大宽	141	145	146	154	162	164	168
5. 头最大长	168	173	175	184	192	195	200
6. 头围	525	536	541	560	580	586	597
7. 形状面长	104	106	111	119	128	130	135

表 10-10 人体头部尺寸（女）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 头全高	193	200	203	215	228	232	239
2. 头矢状弧	300	310	313	329	344	349	358
3. 头冠状弧	318	327	332	348	366	372	381
4. 头最大宽	137	141	143	149	156	158	162
5. 头最大长	161	165	167	176	184	187	191
6. 头围	510	520	525	546	567	573	585
7. 形状面长	97	100	102	109	117	119	123

10.3.6 人体手部尺寸

在设计医疗器械产品的各种操作部件时，手部的尺寸也是一项重要的参考尺寸，如设计医疗器械中的各种操作装置、按钮等都需要参考手部的尺寸来设计。如图 10-9 所示为人体手部尺寸的测量位置，国标中的人体手部尺寸数值如表 10-11、表 10-12 所示。

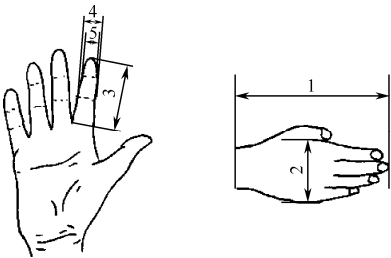


图 10-9 人体手部测量部位

表 10-11 手部尺寸（男）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~60 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 手长	164	170	173	183	193	196	202
2. 手宽	73	76	77	82	87	89	91
3. 食指长	60	63	64	69	74	76	79
4. 食指近位指关节宽	17	18	18	19	20	21	21
5. 食指远位指关节宽	14	15	15	16	17	18	19

表 10-12 手部尺寸（女）(mm)

项 目 \ 百分位数	18~55 岁						
	1	5	10	50	90	95	99
1. 手长	154	159	161	171	180	183	189
2. 手宽	67	70	71	76	80	82	84
3. 食指长	57	60	61	66	71	72	76
4. 食指近位指关节宽	15	16	16	17	18	19	20
5. 食指远位指关节宽	13	14	14	15	16	16	17



## 10.4  医疗器械产品设计中人体测量数据的应用原则

在医疗器械产品的设计中要恰当应用人体的尺寸数据，应该掌握医疗设备的功能、性能，医生和病人所处的医疗环境，以及病人和医护工作者的生理、心理特征。

### 10.4.1  人体数据应用的基本要求

人体的尺寸有差异，但医疗设备应满足绝大多数人的使用要求。为了使医疗设备能满足尽可能多的病人的需要，设计的医疗器械产品要同时满足体型矮小和体型高大操作者的使用要求。在设计医疗器械产品时应便于加工生产、降低生产成本，在不危及使用者安全的情况下，选择第 5 百分位（P5）、第 95 百分位（P95）为限比较合适。具体应用请参考以下原则：

- （1）医疗床、担架、手术台等由人体身高决定的物体，应参考第 95 百分位（P95）的数值。
- （2）座椅平面的高度、床的高度、把手高度等由人体某些尺寸决定的物体，应参考第 5 百分位（P5）数值。
- （3）部分需要调整的医疗器械产品，应将可调节数值设置到第 5 百分位（P5）和第 95 百分位（P95）之间，以满足大多数病人的实用要求。
- （4）操作台面的高度，应参考第 50 百分位（P50）数值。

### 10.4.2  应用人体尺寸数据时应注意的要点

#### 1. 弄清医疗器械产品使用者或操作者的状况

大多数的医疗器械产品都是针对特定的病患来设计的，在设计初期必须考虑病人的年龄、性别、体型、种族、身体健康状况等特征。

#### 2. 确定所设计医疗器械产品的类型

在涉及人体功能尺寸的产品设计中，设定产品功能尺寸的主要依据是人体尺寸百分位数，而人体尺寸百分位数的选用又与所设计产品的类型密切相关。GB/T 12985—1991 中，依据人体尺寸的设计上限值（最大值）和下限值（最小值）对产品尺寸设计进行了分类，如表 10-13 所示。

表 10-13  产品尺寸设计分类

产 品 类 型	产品类型定义	说 明
I 型产品尺寸设计	需要两个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值和下限值的依据	又称双限值设计
II 型产品尺寸设计	只需一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值和下限值的依据	又称单限值设计
II A 型产品尺寸设计	只需一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值的依据	又称大尺寸设计
II B 型产品尺寸设计	只需一个人体尺寸百分位数作为尺寸下限值的依据	又称小尺寸设计
III 型产品尺寸设计	只需要第 50 百分位数（P50）作为产品尺寸设计的依据	又称平均尺寸设计

3. 选择人体尺寸百分位数

表 10-13 中的分类是国标的分类,在实际使用中还将产品分为一般工业品和涉及人体安全、健康的产品两个等级。医疗器械产品属于涉及人体安全、健康的产品,在选择人体尺寸百分位数进行设计时,应具有较大的满足度(满足度指所设计的产品能满足多少人使用)。如表 10-14 所示为产品尺寸设计的类型、等级、满足度与人体尺寸百分位数的关系。

表 10-14 人体尺寸百分位数的选择

产 品 类 型	产品重要程度	百分位数的选择	满 足 度
I 型产品	涉及人的健康、安全的产品 一般工业产品	选用 P99 和 P1 作为尺寸上、下限值的依据	98%
		选用 P95 和 P5 作为尺寸上、下限值的依据	90%
II A 型产品	涉及人的健康、安全的产品 一般工业产品	选用 P99 和 P95 作为尺寸上限值的依据	99%或 95%
		选用 P90 作为尺寸上限值的依据	90%
II B 型产品	涉及人的健康、安全的产品 一般工业产品	选用 P1 和 P5 作为尺寸下限值的依据	99%或 95%
		选用 P10 作为尺寸下限值的依据	
III型产品	一般工业产品	选用 P50 作为尺寸的依据	通用
成年男、女通 用产品	一般工业产品	选用男性的 P99、P95 或 P90 作为尺寸上限值的依据	通用
		选用女性的 P1、P5 或 P10 作为尺寸下限值的依据	

10.5 设计用人体模板

由于人体各部位的尺寸因人而异,而且人体的工作姿势随着作业对象和工作情况的不同而不断变化,因而要从理论上来解决人机相关位置问题是比较困难的。但是,利用人体结构和尺度关系制成各种标准的人体外形模板辅助医疗器械产品的设计,可以较为直观地表现出人机相对位置的设计参数,为更加合理地布置医疗器械产品的人机系统提供保障。

人体外形模板适用于与人体有关的工作空间、操作位置等辅助设计及其人机工程学分析和评价。

GB/T 15759—1995 提供了设计用人体外形模板的尺寸数据及其图形,如图 10-10 所示。

该模板采用穿鞋裸体人体尺寸,按人体身高尺寸不同分为四个等级,一级采用女子第 P5 百分位身高;二级采用女子第 P50 百分位身高与男子第 P5 百分位身高重叠值;三级采用女子第 P95 百分位身高与男子第 P50 百分位身高重叠值;四级采用男子第 P95 百分位身高,如表 10-15 所示。

表 10-15 设计参数与人体模板百分位的关系

结 构 特 征	设计参数举例	选用人体模板百分位
外部尺寸	手臂活动触及范围	应选用“小”身材,如 P5
内部尺寸	腿、脚活动占有空间,人体、头、手、脚等部位通过空间	应选用“大”身材,如 P95
力的大小	操作力	应选用“小”身材,如 P5
	断裂强度	应选用“大”身材,如 P95

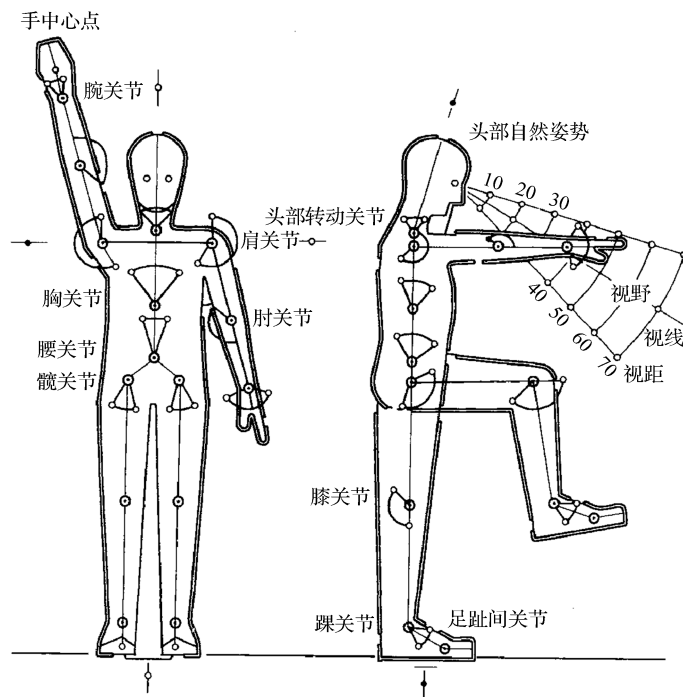


图 10-10 立姿人体外形模板

## 复习与思考

1. 常用人体尺寸在医疗器械产品设计中应该如何运用？
2. 男性人体尺寸和女性人体尺寸在医疗器械产品造型设计中应如何取舍？
3. 医疗器械产品的哪些部位尺寸应该按照医护工作者的人体尺寸进行设计？医疗器械产品哪些部位的尺寸应该按照病患的尺寸进行设计？

## 第 11 章

# 医疗器械产品作业空间设计

### 11.1 作业空间设计

人在操作机器的过程中需要与机器、操作对象和各种工具打交道，其操作所要涉及的机器、操作对象、各种工具占用的空间及所需要的操作活动空间的总和，被称为作业空间。

医疗器械产品作业空间的设计，指的就是如何把医务工作者、患者、医疗器械按照操作的需求在医护环境中布置的问题，目的是使医务工作者的操作能够方便、高效，患者也可以安全、舒适地体验医疗器械的服务。现代化的医疗环境对医疗器械产品作业空间的要求更高，除了要考虑一般的操作空间外，还应把心理、行动空间都纳入考虑的范围。

#### 11.1.1 医疗器械产品作业空间的分类

##### 1. 操作空间

医护工作者与医疗器械结合完成对病患的诊治工作需要特定的空间中进行，在这个空间设计过程中要考虑医护工作者的作业范围和作业活动空间。

## 2. 行动空间

行动空间是指医护人员和病患在使用医疗器械时所需要的合理行动空间。

## 3. 心理空间

心理空间指的是作业空间给医务人员和患者的体验和心理感受。心理空间的设计需要从人身空间、环境照明、色彩、通风换气等方面考虑。病患对于医疗空间本身就有一定的恐惧感，如何降低他们的不安和紧张感，是医疗器械作业空间设计要考虑的一个重点。

### 11.1.2 医疗器械产品作业场所布置的基本要求

医疗器械作业场所布置是指在限定的医疗作业空间内，医护人员的作业面设定好后，医疗器械产品的控制设备、显示设备及其他作业设备的定位与安排。对于一般的医疗环境来说，内部的设备众多，必须统筹安排，保证医护人员的操作方便、高效、准确。一般来说，医疗器械作业场所的布置有以下基本原则：

#### 1. 方便行走移动

医疗器械作业空间的设计应确保患者能够顺利移动，尤其是部分重病患者可能会借助轮椅、移动担架等装置接近器械，甚至需要借助他人的帮助才能上到医疗器械上。因此，医疗器械产品作业空间必须参照人体尺寸进行设计，并根据具体的使用要求留有必要的余量。

#### 2. 器械布局合理

在进行设计时，应该对医疗器械产品的功能和使用目的进行深入研究，并按功能将其操作和显示机构进行分组，最常用且具有重要功能的操作机构在设计时应优先考虑，以使医护人员能够方便、高效地使用医疗器械。

#### 3. 信息反馈迅速

医疗器械产品的作业空间设计，应确保医务工作者在操作过程中可以看见自己所操作的医疗设备在患者身上的运行状态，在医务工作者和医疗器械之间不应有其他视觉障碍。如有特殊的防护需要，如 X 光、CT 设备等，应在医护人员和医疗器械间加上透明的观察窗或视频监控设备。视觉是操作者与医疗器械之间的主要操作通道，还可以考虑增加听觉提醒装置，以降低医务工作者出错的概率。

#### 4. 沟通、联系方便

一般的产品在使用时，只是由用户操作单一的产品。但医疗器械产品更加复杂，其涉及的人更多，沟通和联系的要求也更多，包括医务人员和医疗器械间的联系、医疗器械和患者间的联系、医务人员和患者间的联系等。在医疗器械产品操作空间设计时，应保证以上沟通、联系都能够顺畅地进行。

### 11.1.3 医疗器械产品布置顺序

上述布置原则从空间位置上讨论了医疗器械产品作业场所的布置问题。对于包含显示与控制的医疗器械产品个体作业空间，还可以从以下的时间顺序上考虑布置的问题，以做出合适的折中。

- 第一位：主显示器；
- 第二位：与主显示器相关的主控制器；
- 第三位：控制与显示的关联（使控制器靠近相关的显示器，运动相关性关系等）；
- 第四位：按顺序使用的元件；
- 第五位：使用频繁的元件应处于便于观察、操作的位置；
- 第六位：与本系统或其他系统的布局一致。

## 11.2 医疗器械产品近身操作空间设计

近身操作空间即指作业者操作时，四肢所及范围的静态尺寸和动态尺寸。近身操作空间的尺寸是医疗器械产品空间设计与布置的主要依据。近身操作空间主要受功能性臂长的约束，而臂长的功能尺寸又由作业方位及作业性质决定。此外，近身作业空间还受衣着影响。

### 11.2.1 坐姿近身操作空间

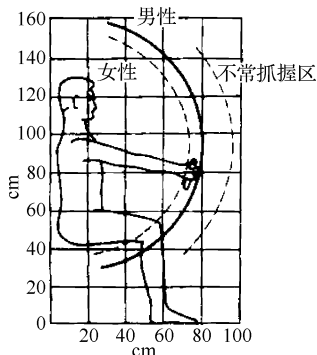


图 11-1 人体坐姿抓握尺度范围

医疗器械产品的操作属于精度、专注度要求较高的行业，而且一般医护工作者在一天中操作医疗器械的时间较长。医务工作者在操作医疗器械时，最常用、最舒适的操作姿势为坐姿。如图 11-1 所示为人体坐姿抓握尺寸范围。

坐姿作业通常在作业面以上进行，随作业面高度、手偏离身体中线的距离及手举高度的不同，其舒适的作业范围也在发生变化。若以手处于身体中线处考虑，直臂作业区域由两个因素决定：肩关节转轴高度及该转轴到手心（抓握）距离（若为接触式操作，则到指尖）。以肩关节为圆心的直臂抓握空间半径：男性为 65 cm，女性为 58 cm。

### 11.2.2 站姿近身操作空间

在站姿操作的过程中，医护工作者相对更加自由，可以在一定范围内移动自己的身体。但在作业空间设计时，还应避免手臂过度伸长、下蹲或者弯曲身体，以及躯干的扭曲等。如图 11-2 所示为站姿单臂、双臂近身作业空间。

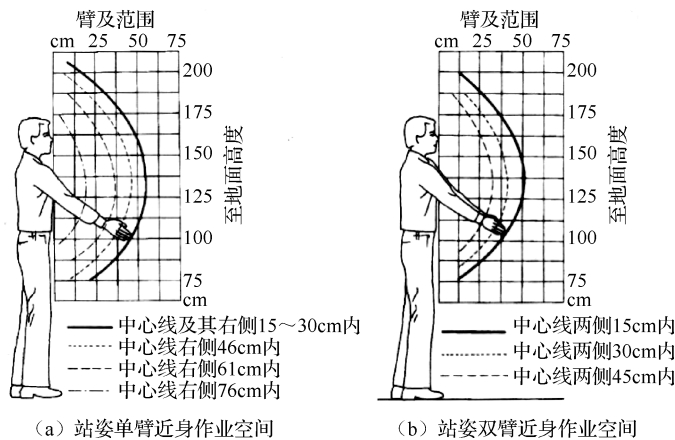


图 11-2 站姿单臂、双臂近身作业空间

站姿作业一般允许作业者自由地移动身体，但其作业空间仍需受到一定的限制。例如，应避免伸臂过长的抓握、蹲身或屈曲、身体扭转及头部处于不自然的位置等。图 11-2 (a) 为站姿单臂作业的近身作业空间，以第 5 百分位的男性为基准，当物体处于地面以上 110~165cm 高度，并且在身体中心左右 46cm 范围内时，大部分人可以在直立状态下达到身体前侧 46cm 的舒适范围（手臂处于身体中心线处操作），最大可及区弧半径为 54cm；对于双手操作的情形，由于身体各部位相互约束，其舒适作业空间范围有所减小，见图 11-2 (b)。这时伸展空间为：在距身体中线左右各 15cm 的区域内，最大操作弧半径为 51cm。

11.2.3 脚作业空间

脚部的作业空间主要是身体的前侧，但脚部的灵活性较差、操作力度大，且难以进行精确的控制，一般仅用脚控制踏板一类的装置。医疗设备产品一般操作精度比较高，需要用脚控制的设备较少。但也有部分医疗设备，在操作的过程中需要脚部的辅助完成一些简单的操作，配备有脚部操作装置。

与手操作相比，脚操作力度大，但精确度差，且活动范围较小，一般脚操作限于踏板类装置。正常的脚作业空间位于身体前侧，坐高以下的区域，其舒适的作业空间取决于身体尺寸与动作的性质。图 11-3 为脚偏离身体中线左右 15° 范围内作业空间的示意，深影区为脚的灵敏作业空间，而其余区域需要大腿、小腿有较大的动作，故不适于布置常用的操作元件。

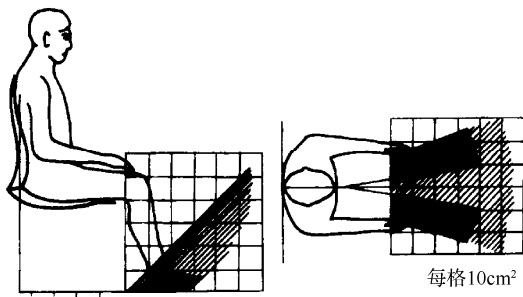


图 11-3 脚作业空间

## 11.3 医疗器械产品作业面与作业岗位设计

### 11.3.1 医疗器械产品作业面设计

水平作业面主要在坐姿作业或坐/站作业场合采用，它必须位于作业者舒适的手工作业空间范围内。对于正常作业区域，作业者应能在小臂正常放置而上臂处于自然悬垂状态下最舒适地操作；对最大作业区域，应使在臂部伸展状态下能够操作，且这种作业状态不宜持续很久，如图 11-4 中细实线与虚线所示。

作业时，由于肘部也在移动，小臂的运动与之相关联。考虑到这一点，则水平作业区域小于上述范围，如图 11-4 中粗实线所示。在此水平作业范围内，小臂前伸较小，从而能使肘关节处受力减小。

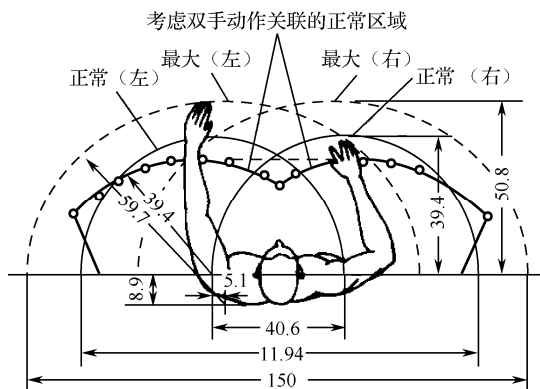


图 11-4 水平作业面的正常尺寸和最大尺寸

### 11.3.2 医疗器械产品作业岗位类型

在操作医疗器械的过程中，按医护人员操作医疗器械的作业姿势可分为坐姿岗位、立姿岗位和坐、立姿交替岗位三类。在医疗器械人机系统设计时，选择哪种作业岗位为基础进行设计，应依据医护工作的任务性质来考虑。

#### 1. 坐姿作业岗位

坐姿作业岗位是为从事轻作业、中作业，且不要求作业者在作业过程中走动的工作而组织的。医护工作者的工作性质大多属于轻、中度作业，宜选择坐姿岗位。坐姿工作岗位主要有以下特征：

- (1) 在坐姿操作范围内，短时作业周期需要的工具、材料、配件等都易于拿取或移动。
- (2) 不需用手搬移物品的平均高度超过工作面以上 15cm 的操作。
- (3) 不需作业者施用较大力量，如搬动重物不得超过 4.5kg，否则，应采用机械助



力装置。

(4) 在上班的绝大多数时间内从事精密装配或书写等作业。

## 2. 立姿作业岗位

立姿作业岗位是为从事中作业、重作业及坐姿作业岗位的设计参数和工作区域受到限制的情况下而组织的,有些医疗器械产品的操作也需要采用立姿来进行控制,例如医生在手术台上就是采用立姿进行工作。具有下列常见特征的工作,可以选用立姿岗位:

- (1) 当其作业空间不具备坐姿岗位操作所需的容膝空间时。
- (2) 在作业过程中,常需搬移质量超过 4.5 kg 的物料时。
- (3) 作业者经常需要在其前方的高、低或延伸的可及范围内进行操作。
- (4) 要求操作位置是分开的,并需要作业者在不同的作业岗之间经常走动。
- (5) 需作业者完成向下方施力的作业,如包装或装箱作业等。

## 3. 坐、立姿交替作业岗位

因工作任务的性质,要求操作者在作业过程中采用不同的作业姿势来完成,而只有不同的作业岗位才能满足作业者采用不同作业姿势的要求,为此情况而组织的作业岗位称为坐、立姿交替作业岗位。具有下列特点时,建议采用坐、立姿交替岗位:

- (1) 经常需要完成前伸超过 41cm 或高于工作面 15cm 的重复操作。如果不考虑人体可及范围和静负荷疲劳的特点,可取坐姿作业岗位;但考虑人的特点,应选择坐、立姿交替岗位。
- (2) 对于复合作业,有的最好取坐姿操作,有的则适宜立姿操作,从优化人机系统来考虑,应取坐、立姿交替岗位。

# 11.3.3 医疗器械产品作业岗位要求和原则

## 1. 设计要求

(1) 作业岗位的布局应保证作业者在上肢活动所能达到的区域内完成各项操作,并应考虑下肢的舒适活动空间。

(2) 作业岗位设计时,应考虑操作动作的频繁程度,此处对动作频率程度的划分是:每分钟完成两次或两次以上的动作为很频繁;每分钟完成的操作动作少于两次,而每小时完成两次或两次以上为频繁;而每小时完成的操作动作少于两次为不频繁。

(3) 作业岗位设计时,还应考虑作业者的群体,如全部为男性或全部为女性,应选用两种不同性别各自的人体测量尺寸;如果作业岗位是男性和女性共同使用,则应考虑男性和女性人体测量尺寸的综合指标。

## 2. 设计原则

(1) 设计作业岗位时,必须考虑作业者动作的习惯性、同时性、对称性、节奏性、规律性等生理特点,以及动作经济性原则。

(2) 作业岗位的各组成部分,如座椅、工具、显示器、操纵器及其他辅助设施的设计,均应符合工作特点和人机工程学要求。

(3) 在作业岗位上不允许有与作业岗位结构组成无关的物体存在。

(4) 作业岗位的设计还应符合 GB 5083、GB 3861、GB 4064 等有关标准和劳动安全规程要求。

## 11.4 手工作业岗位和视觉信息作业岗位

在传统的医疗器械设计当中主要以医生和护士的手工操作为主，因此医疗器械产品以手工作业岗位设计为主。但是随着计算机的普及和数字化控制技术的广泛应用，越来越多的手工作业岗位设计中要涉及视觉信息的提取和应用，因此许多新型的医疗器械产品都是手工和视觉信息复合型的作业岗位，如图 11-5 所示的 B 超机就是典型的复合型作业岗位，且类似的复合型产品在医疗器械领域会越来越多。

### 11.4.1 手工作业岗位的类型

在传统的医疗器械产品的操作中，以手工操作为主，因此设计过程中主要参考人机工程学标准中的手工作业岗位来进行设计。按工作任务的性质，手工作业岗位也分为坐姿手工作业岗位、立姿手工作业岗位和坐、立姿交替手工作业岗位三种类型。如图 11-6 所示的牙医工作台就是典型的手工作业岗位，且在治疗的过程中，牙医可以根据治疗的部位，进行坐、立姿的切换。

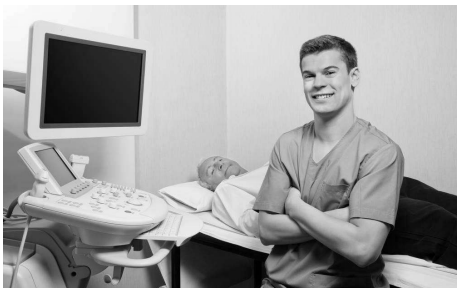


图 11-5 B 超机



图 11-6 牙医工作台

GB 14776—1993 中对三种类型的手工作业岗位的设计提供了有关的基本原则和确定尺寸的基本方法。

#### 1. 坐姿手工作业岗位

图 11-7 (a)、(b) 分别为坐姿手工作业岗位的侧视图和俯视图，图中标注的代号为设计时需确定的与作业有关和与人体有关的尺寸。

#### 2. 立姿手工作业岗位

图 11-8 所示为立姿手工作业岗位的侧视图，其俯视图同图 11-7 (b)，图中代号含义也同图 11-7。

3. 坐、立姿交替手工作业岗位

坐、立姿交替手工作业岗位侧视图见图 11-9，其俯视图见图 11-7 (b)，图中代号含义也同图 11-7。

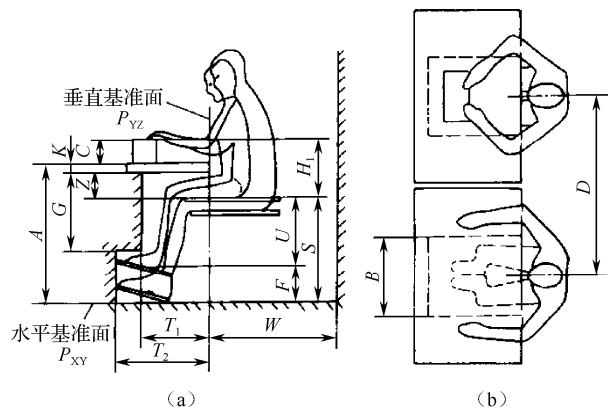


图 11-7 坐姿手工作业岗位

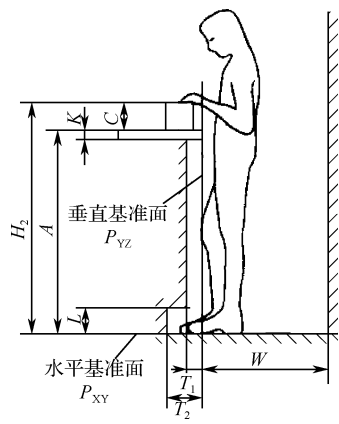


图 11-8 立姿手工作业岗位侧视图

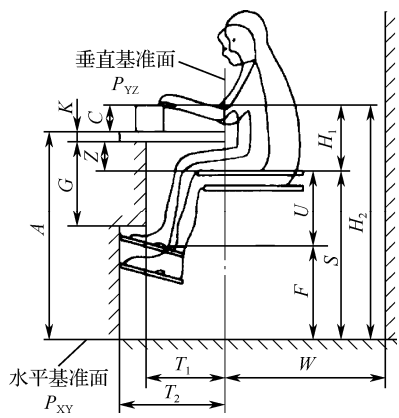


图 11-9 坐、立姿交替手工作业岗位

11.4.2 手工作业岗位尺寸设计

根据与作业相关的程度，三种手工作业岗位中的尺寸均分为与作业有关和与人体有关两类，下面分别介绍两类尺寸的确定方法。

1. 与人体有关的作业岗位尺寸

由国家标准中与作业者人体有关部位第 5 或第 95 百分位数值推导出与人体有关的岗位尺寸，列于表 11-1。

表 11-1 与人体有关的作业岗位尺寸 (mm)

尺寸符号	坐姿工作岗位	立姿工作岗位	坐、立姿工作岗位
横向活动间距 $D$		$\geq 1000$	
向后活动间距 $W$		$\geq 1000$	
腿部空间进深 $T_1$	$\geq 330$	$\geq 80$	$\geq 330$
脚空间进深 $T_2$	$\geq 530$	$\geq 150$	$\geq 530$
坐姿腿空间高度 $G$	$\leq 340$	—	$\leq 340$
立姿脚空间高度 $I$	—	$\geq 120$	—
腿部空间宽度 $B$	$\geq 480$		$480 \leq B \leq 800$
			$700 \leq B \leq 800$

2. 与作业有关的作业岗位尺寸

(1) 作业面高度  $C$ ，通常依据作业对象、工作面上相关配置件尺寸确定；对较大的或形状复杂的加工对象，则以加工对象方位处于满足最佳加工条件状态下确定。

(2) 工作台面厚度  $K$ ，在设计时应满足下式关系：

$$K=A-S_{5\%}-Z_{5\%} \quad K=A-S_{95\%}-Z_{95\%}$$

式中， $S_{5\%}$ 、 $S_{95\%}$ 为第 5 和第 95 百分位数人体座位面高度； $Z_{5\%}$ 、 $Z_{95\%}$ 为第 5 和第 95 百分位数人体大腿空间高度。

(3) 工作平面高度  $A$  的最小限值，对图 11-7 所示的坐姿作业岗位，可用下式确定：

$$A \geq H_1 + S - C$$

或

$$A \geq H_1 + U + F - C$$

对图 11-8 所示的立姿作业岗位，则由下式确定：

$$A \geq H_2 - C$$

(4) 座位面高度  $S$  的调整范围计算式如下：

$$S_{95\%} - S_{5\%} = H_1(5\%) - H_1(95\%)$$

(5) 脚支撑高度  $F$  的调整范围计算式为

$$F_{5\%} - F_{95\%} = S_{5\%} - S_{95\%} + U_{95\%} - U_{5\%}$$

11.4.3 视觉信息作业岗位设计

视觉信息作业是以处理视觉信息为主的作业，如控制室作业、办公室作业、目视检验作业及视觉显示终端作业等。随着现代生产自动控制技术、通信技术、计算机技术等学科的飞速发展，各种系统的计算机通信网络的建立，正在改变着人们作业岗位的面貌。因此，视觉信息作业岗位将逐渐成为当代人重要的劳动岗位，其中视觉显示终端作业岗位更具有代表性。

显示屏等装置已经成为目前医疗器械的标准配置，在操作医疗器械的过程中要经常观察显示屏。即使是以前不需要配备显示器的医疗器械，随着科技的进步，也将会配备显示器，以给医护工作者提供更多信息、更清晰的图像，如图 11-10 所示的新型牙科治疗椅已经配上了液晶显示器。

视觉显示终端作业岗位的人机界面关系可用图 11-11 来加以说明。这类作业岗位大多采用坐姿岗位,因而其人机界面关系主要存在于图中箭头所指示的四处,即“人-椅界面”、“眼-视屏界面”、“手-键盘界面”、“脚-地板界面”为该类游戏设计要点。彩超机等需要观察显示屏来获取医疗信息的设备,可以借鉴视觉显示终端作业岗位的人机关系进行人机工程学设计。



图 11-10 新型牙科治疗椅

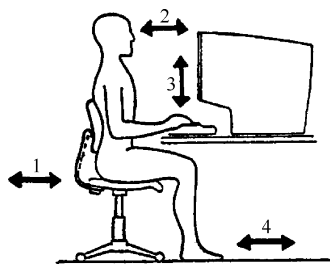


图 11-11 视觉显示终端岗位的人机界面

#### 11.4.4 视觉信息作业岗位的人体尺寸

仪表控制作业岗位的人体尺度见图 11-12,有些医疗器械产品操作也与仪表控制岗位的人机工程学设置类似。图 11-12 (a)、(b)、(c) 中分别表示控制台结构形式不同,相应的作业岗位尺寸也有一定的差异,在进行医疗器械产品造型时可根据不同的医疗控制台结构形式,选择类似的控制台,参照设计。

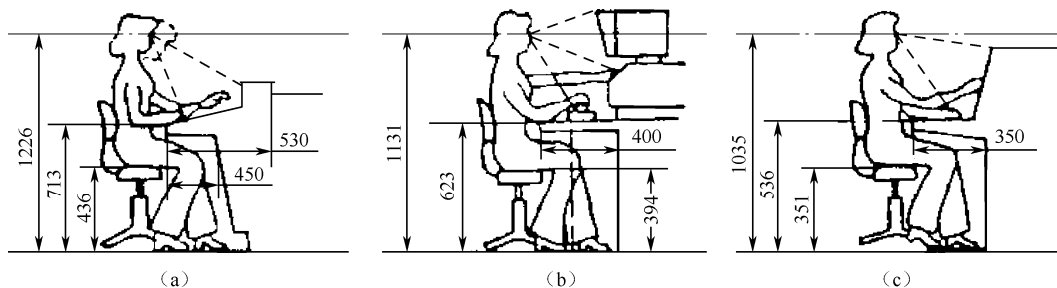


图 11-12 仪表控制作业岗位尺寸

## 复习与思考

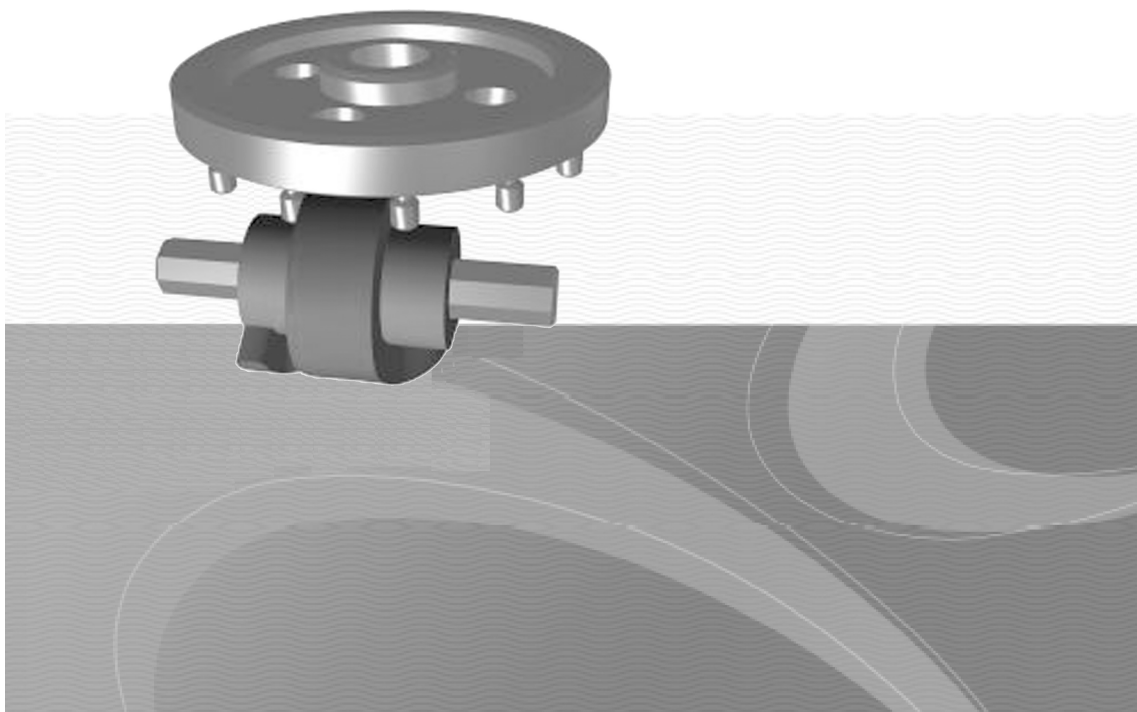
1. 新型的医疗器械产品如何结合手工作业岗位和视觉信息作业岗位的尺寸进行设计?
2. 医疗器械产品的水平作业面的控制机构应如何安排?
3. 选择一款典型的医疗器械产品,并结合本文所讲的产品布置原则,分析该医疗器械产品的布置。

# 第四篇

## 医疗器械产品的 造型设计

# 4

随着人们生活水平和经济水平的提高，人们对医疗器械产品也提出了越来越高的要求，从原来的能够满足治疗需要，变得希望产品更加美观、舒适、使用方便。良好的外观、色彩设计可以降低医生和患者的心理压力，也可以提升医生和患者诊疗过程中的舒适性。第 12 章介绍医疗器械产品外观设计的现状、医疗器械产品人机系统尺度的选择、医疗器械产品外观设计的注意要点、医疗器械产品外观设计原则、医疗器械产品形态创意的视觉美学特征、医疗器械产品的色彩设计等内容；第 13 章通过颈颅超声溶栓治疗仪和药浴熏蒸机两个实例介绍如何根据产品的实际情况，完成产品的外观和色彩设计。



## 第 12 章

# 医疗器械产品的造型设计

### 12.1 医疗器械产品外观设计的现状

随着人们生活水平和经济水平的提高，人们对医疗器械产品也提出了越来越高的要求，从原来的能够满足治疗需要，变得希望产品更加美观、舒适、使用方便。“形式追随功能”是 20 世纪初的包豪斯所提出的，并在很长一段时间内影响着产品设计，其中也包括医疗器械产品的设计。单纯贯彻“形式追随功能”的思想，在医疗器械产品设计时单纯考虑产品的功能和结构，使医疗器械变得冰冷、生硬是不可取的。

同时医疗器械产品也属于高新技术产品，往往综合应用最新的科学技术来为医生和病人服务，同时也是经济附加值高、国家重点扶持发展的行业。2011 年 11 月，科技部在《医疗器械科技产业“十二五”专项规划》中明确指出了我国医疗器械产业发展的相关问题：我国基层医疗机构设备配置水平偏低的总体格局尚未改变，还存在功能少、性能低、不好用、不适用等问题；大中型医疗装备、中高端医疗器械和高值医用材料主要以进口为主，价格昂贵，给国家和患者带来了沉重的负担。

目前，我国医疗器械行业的总体设计水平与国际一流的医疗器械行业还有差距，尤其是在高端的计算机断层扫描（CT 机）、核磁共振成像（MRI）等医疗设备制造方面还有较大的差距，这些高端医疗设备多被美、日、欧等国的老牌医疗器械公司所垄断。但是在中低端

医疗器械产品方面,国内企业与国外企业的差距并不明显,甚至凭借着价格和成本的优势领先国际企业。目前国内比较知名的医疗器械企业有 GE 医疗、西门子 SIEMENS、飞利浦医疗、迈瑞 MINDRAY、东软 Neusoft、新华 Shinva、鱼跃 yuwell 等,各位读者可以登录各公司的主页了解产品设计的范围和样式。

## 12.2 医疗器械产品人机系统尺度的选择

医疗器械产品的人机系统设计有其特殊性,因为使用医疗器械产品的和被医疗器械作用的都是人,这与一般机电产品有明显区别。医疗器械产品的人机系统包括“医护人员—医疗器械”人机系统和“病人—医疗器械”人机系统两个部分。

在医院中操作医疗器械对病人进行治疗和检查的,都是经过专业、系统培训的医护人员。因此在设计医疗器械产品的操作部分时主要参考正常的医护人员人体尺寸进行设计。且医护人员多经过专业培训,因此在“医护人员—医疗器械”人机界面设计中可以采用较为专业、科技感强的造型语言。



图 12-1 护理床

病人的年龄、性别、受教育程度、疾病的严重程度等都有很大的不同,他们对于医疗设备的接受程度和人机界面的理解也不同。但相同的是,他们由于疾病和就诊时的紧张情绪,在就诊时多少都会有一定的恐慌。因此“病人—医疗器械”人机界面的造型应该采用平缓、适应性更强的造型语言和色彩进行设计。

如图 12-1 所示的护理床,其中床的部分就是典型的“病人—医疗器械”人机系统,护理床的宽度、高度、色彩及靠背部分抬起的角度等都应该按照病人的要求来进行设计;但是床的操作部分,比如各种旋钮、把手、吊瓶杆、丝杠等部件的位置则属于典型的“医护人员—医疗器械”人机系统,应

该按照医护人员的人机尺度进行设计。

## 12.3 医疗器械产品外观设计的注意要点

### 1. 造型

产品造型是“病人—医疗器械”人机界面的最直接的接触对象,医疗器械产品的造型要符合病人的审美需要,不仅要让病患在视觉上感到愉悦,还要让病患从心理上感到安全,减弱病人就诊时的恐慌情绪。



## 2. 色彩

医疗器械产品所处的环境需要安静、平和，多采用明亮、平静的配色，为医生、病患创造清洁、卫生的就诊环境。

## 3. 细节

为了安全，医疗器械产品的整体性应比较好，避免部件不必要的突出，且边角都应做倒角，防止与病人接触过程中造成病人的外伤。

## 4. 材质

与人接触的部分避免采用坚硬、冰冷的金属材质，而应该更多地采用接触起来没有明显温度变化的塑料、皮革、橡胶等材质，如果能有一定的软度则会更好。

# 12.4 医疗器械产品外观设计原则

在一个医疗器械产品的人机系统当中，一般应包括控制系统、显示系统、运动系统、安全系统四个组成部分。要将这些系统都协调好，形成一个统一的整体，给用户一个整体的视觉感受，可以采用以下设计方法：

### 1. 造型风格的统一协调

要求医疗器械主体和辅助部分之间造型风格协调统一、形式与功能统一。在进行医疗器械产品造型设计时，尽量采用大的曲面和倒角来设计主体的造型，可以降低医疗器械产品对医生和病患的心理影响，会使产品显得亲切、易接近，让病人和医护人员都更好接受。

### 2. 造型整体减少琐碎的形态

在医疗器械产品造型设计的过程中，应采用整体化的设计思路，在设计过程中尽量使医疗设备形成一个整体，避免不必要的突出和裸露。

### 3. 色彩、涂装合理

产品的色调设计要符合产品的功能和使用的需要，主体部分和功能部分应有适度的对比。医疗器械产品的局部涂装要保证统一，标志和说明文字比例合适、布局合理。

### 4. 造型与环境相协调

医疗器械的主体色彩应和医疗环境的色彩相接近，不应该有较为强烈的反差。

### 5. 人性化原则

人机工程关系设计合理，操作顺序习惯符合规范。

## 6. 加工制造成本经济

不能过分追求造型而增加生产制造的成本,材料也不能盲目追求高档,应在保证合理品质的基础上方便医疗器械产品的加工和生产。

以某品牌 CT 机(计算机 X 线断层摄影机)为例进行分析,如图 12-2 所示。病人在遇到比较严重的疾病时才需要使用 CT 机进行治疗,且多数病人接触这类设备的机会较少,在看到这类设备时心理就会产生一定的焦虑情绪。在检查的过程中,病人要平躺在检查床上,再被平移送入聚束器中进行检查,而其家人和医护人员却被隔离在外,更加剧了病患的紧张情绪。



图 12-2 某品牌 CT 机造型设计

因此该产品的设计采用了圆润的曲线形态,没有平直的尖角,主色调色彩选择了灰白色,显得干净整洁,辅助色选择了绿色,给人以生命的希望,在机器的主体上,还采用了深浅两种灰色的条纹设计,使产品更加活泼。与病人的身体接触部位,采用了海绵作为支撑,且外部包裹皮革材质。当病人躺在这样的设备中进行检查时,就像躺在家中的沙发上一样,有效地缓解了病人在进行复杂检查时的恐慌感。

## 12.5 医疗器械产品形态创意的视觉美学特征

医疗器械产品也是工业产品的一种,因此,在进行外观设计时也需要工业产品的外观设计规律,常用的工业产品形态创意设计原则有以下几条:

### 1. 造型的简洁性

简洁是工业产品造型设计时要始终遵循的一项重要原则。因为简洁的形态不仅加工生产起来更加容易,同时简洁的形态更容易吸引人们的注意力,也更容易被人们所接受。

如图 12-3 所示,左图是国内某知名医疗器械生产企业生产的家用制氧机,整体造型非常简洁,按键和部分盖板都与整机的外壳融为一体。整体的色彩设计也非常简洁,外观部分只用了黑、白两种颜色,显示屏也采用黑底白字的设计,既与按键部分的色彩设计相同,也减少了机身的整体色彩,整体显得简洁、时尚、高档,适合家庭和医院购买与使用。反观网络上热销

的另外一款家用制氧机的造型，表面的块面、色彩较多，显得廉价、品质感不足。



图 12-3 制氧机造型设计对比

在强调产品造型的简洁性的同时，大家也不要产品的简洁性和外观的简单混为一谈，简洁是一种经过凝练的美，而简单则是指的单调乏味，两者有本质的区别。如图 12-4 所示的这款制氧机，主体造型只是一个倒了角的长方体，虽然也同样能产生氧气，但整体品质感与同类产品相差较远，售价也远低于同类产品。

## 2. 造型的整体性

在人们看到一款新的产品时，首先感受到的是这款产品给人的整体印象，然后才会深入观察这款产品的细节设计。在工业产品造型设计中，造型的整体性主要指产品的细节设计和主体的造型设计要按照统一的美学原则进行设计。

如图 12-5 所示的某品牌超声机的造型设计，整体和局部都采用了带有圆角的造型设计，而且机身各部分都采用了黑灰搭配的色彩设计，虽然整体的部件较多，但是各部件看起来和谐统一。



图 12-4 制氧机造型设计



图 12-5 超声机造型设计

## 3. 造型的创新性

产品需要不断地改良和创新，才能够适应市场不断发展的需要。现在物质产品非常丰富，创新的产品形态对消费者也更加具有吸引力。

如图 12-6 所示为颈椎按摩器的造型设计，左侧是老式的颈椎按摩器，在网状布料下方有两个按摩头，在旋转的过程中对人体的颈部进行按摩，但整体的色彩和用料仍显粗糙。右侧的颈椎按摩器在传统按摩器的基础之上，进行了使用方式和造型的大胆创新，不再使用突起的按摩头，而采用内嵌在外壳内的按摩头，机身整体光滑、圆润，整体感强，在机身的两侧设计有

可以调节宽窄的机构,使该产品可以适应不同人的颈部尺寸。并且配备了遥控器,在使用该产品进行颈部按摩时,可以直接通过遥控器调整产品的按摩手法、时间和力度。



图 12-6 颈椎按摩器的造型设计

## 12.6 医疗器械产品形态创意的基本方法

医疗器械产品和普通产品一样,造型的特征需要依托具体的“形”才能体现出来。一般来说,把设计产品外形的过程称为“产品造型设计”。在设计医疗器械产品造型的过程中,掌握和熟悉一些常用形态创意设计方法,有助于在设计的过程中迅速获得大量的产品初级形态,为后期的深入设计提供素材和基础。

### 12.6.1 几何形造型

几何形造型是产品造型设计中常用的一种造型方法,在医疗器械产品造型设计中也有较多的应用。在应用几何形造型时,不能直接运用几何形体进行造型设计,在利用几何形体进行造型设计的过程中设计师需要根据医疗器械产品的具体要求,对基础形体做变动和改进,常用的造型手法有分割、组合、变异等。通过以上基础手法,可以获取新的立体几何形态,也为产品造型的细化、深入提供了雏形。



图 12-7 医用冷柜造型设计

#### 1. 分割

分割也称为切割,即在原有形体基础上对其进行切除或分割。通过分割,可使原本简单生硬的几何形体变得更为丰富和生动。如图 12-7 所示的医用冷柜造型设计,就是采用分割的几何形态造型方法,以长方体为基础形态,并在横、竖方向上进行分割,既区分出了不同功能模块,也使造型更加丰富。

#### 2. 组合

组合指的是将几个基本几何形态组合成一个整体,使之达到丰富整体形态结构的目的。在应用组合方法进行设计时,可以运用相同、相似或不同的几何形态进行组合。

在一些复杂的医疗器械产品造型设计中,由于功能模块较多,往往采用组合式的造型手法。如图 12-8 所示的医学成像系统就采用了多个长方体造型的组合完成产品的造型设计。

### 3. 变异

变异是一个基本几何形态通过改变其形态特征,从而衍生出另一个形态的变化手法。通过变异,可使原本单调、呆板的形态获得较为生动的视觉效果。

如图 12-9 所示的腕式家用全自动智能血压测量仪器,整体造型为一个长方体,但是在不同边的倒角形式上进行了变化,摆脱了长方体单调、生硬的视觉效果,使整体的视觉效果更加自然、生动。



图 12-8 采用组合式造型的医学成像系统



图 12-9 血压测量仪器造型设计

### 4. 综合

在现实的产品造型设计过程中,单纯依靠一种几何形态的设计方法很难获得理想的产品造型,往往需要运用多种形态变化的方法一起完成设计。综合,就是将以上几种立体形态变化的方法加以综合利用。

医疗器械系统复杂、结构部件多,复杂的医疗器械多采用综合的造型手法完成设计。如图 12-10 所示的医学成像系统,在利用几何形态进行设计的过程中,综合运用了分割、组合、变异等手法。



图 12-10 采用综合造型方法的医学成像系统

## 12.6.2 仿生造型

仿生造型指的是通过对某种生物结构或自然形态的模仿,达到创造新的造型形式的目的。



图 12-11 为儿童患者设计的雾化器

但是, 在进行仿生造型设计过程中, 不能简单地对自然物体进行照搬与模仿, 而应该在深入调查、理解自然物的基础上, 按照美学原则开展造型设计。

医疗器械产品设计中, 由于面向的用户多是成年的病人和医护工作者, 在造型设计中应用仿生设计的并不多。但是也有部分专门针对儿童患者开发的医疗器械产品, 使用了仿生造型设计, 如图 12-11 所示的专门为儿童患者开发的雾化器造型设计就采用仿生设计的手法, 模仿了熊的头部造型进行设计, 减少儿童患者在接触到医疗器械产品时的恐惧和不适。

## 12.7 医疗器械产品的色彩设计

色彩在人们的日常生活中占据着极其重要的地位。人们对色彩的认识是一个从感性升华到理性的过程。色彩是产品造型要素中的重要因素, 最先引起消费者的注意, 具有先声夺人的效果。

人观察物体时, 最初 20 秒, 色彩影响占 80%, 形态占 20%; 2 分钟后, 色彩占 60%, 形态占 40%; 5 分钟后, 各占一半。美国流行色彩研究中心的一项调查表明, 人们在挑选商品时存在一个“7 秒定律”。面对琳琅满目的商品, 人们只需 7 秒就可以确定对这些商品是否感兴趣, 在这短暂而关键的 7 秒内, 色彩的作用占到 67%, 成为决定人们对商品好恶的重要因素。可见色彩在人们消费过程中有着重要的引导作用。

良好的产品色彩不仅能与产品形态融为一体, 传达产品的品质, 还能直观地表达产品的情感特性, 抓住消费者的注意力, 满足其审美要求, 激发其使用、购买的兴趣, 并同时促进对产品印象的形成与品牌的体验。

### 12.7.1 色彩的基本属性

色相、明度和彩度称为“色彩的三属性”, 色彩由这三个要素的差异来区分。

色立体是把色彩的三属性系统地排列成一个立体形状的色结构, 纵轴是明度, 横轴是彩度, 把色立体横切为两半的断面圆周就称为色相(环), 如图 12-12 所示。

### 12.7.2 常用的色彩设计方法

#### 1. 对比色设计

把两种或两种以上的色彩放在一起, 通过

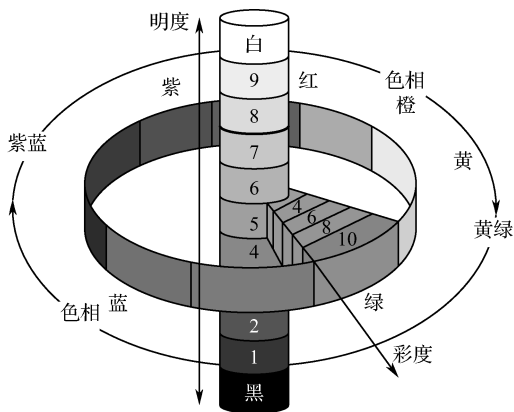


图 12-12 色立体

观察比较,可以对比出其相互间的差异,这种色彩关系称为色彩对比。对比使色彩之间相互影响,产生作用,甚至发生错觉。

对比的强弱程度取决于色相之间在色环上的距离(角度),距离(角度)越小对比越弱,反之则对比越强。比较强烈的对比有互补色对比( $180^{\circ}$ )、对比色对比( $120^{\circ}$ ),这两种色彩对比的效果较为强烈,在医疗器械产品设计中应用较少,多应用于运动器械、儿童产品的色彩设计中,如图12-13所示的跑鞋色彩设计就采用了非常强烈的红绿互补色对比。

中差色对比( $90^{\circ}$ )、同类色对比( $15^{\circ}$ 以内)色彩对比较为缓和,是最弱的色相对比,在医疗器械产品设计当中有一定的应用。精密度比较高的专业医疗器械,较少采用色彩较为丰富的设计,民用或保健类的医疗器械可以采用色彩较为丰富的设计,如图12-14所示的按摩椅就采用了同类色的设计。



图 12-13 跑鞋色彩设计



图 12-14 按摩椅色彩设计

## 2. 黑白灰对比

在实际的医疗器械产品造型设计当中,为了凸显医疗设备的专业性,并与医疗环境进行较好的搭配,多采用黑、白、灰三色的对比完成产品的设计,如黑白、黑灰、白灰等,但是一般来说白色、灰色占据产品表面的较大面积。也有的产品采用不同明度的灰色进行对比。

医院和医疗环境一般以干净、明亮的色调为主,如白色、浅灰色、粉色等,医疗器械产品为了和所处的环境相符合,主体颜色也多选取白色、浅灰色等中性色,再搭配一些鲜亮的色彩作为辅助。在医疗环境中,难免有一定的污点和灰尘存在,医疗器械产品选择白色、浅灰色作为主色,可以减轻污渍对于设备洁净程度的影响,使设备看起来更加整洁,也可以帮助医护人员和病人放松心情。

这种黑、白、灰对比的设计效果,总体给患者大方、庄重、素雅而富有现代感的感觉,但是如果搭配不好,也容易产生过于素净的单调感。如图12-15所示的分析仪,就采用深灰、白的对比设计,主体大面积采用白色,显示屏部分为深灰色。



图 12-15 分析仪色彩设计

## 3. 无彩色与有彩色的对比

在医疗器械产品设计中最为采用的色彩搭配方法,就是无彩色与有彩色的对比,如白与低纯度色彩、灰与低纯度色彩等。相比于单纯的黑、白、灰对比,无彩色与有彩色的对比效果在整洁、大方的基础上又多

了一分活泼和亲和力。

在采用这种色彩设计时有几个注意的要点：

(1) 灰色和白色还是占有最大的面积。

(2) 在体量感较大的医疗器械设计时，一般采用低纯度的色彩进行搭配。

如图 12-16 所示的某品牌无影手术灯，主体部分采用了大面积的白色，在灯的边缘、显示屏部分和中部摄像头的底座采用了纯度较低的蓝色，既划分出了各个不同的功能区域，又丰富了产品的造型和细节。

(3) 在设计体量感较小的医疗器械时，在局部需要提醒医护人员特别注意的地方，可以采用纯度较高的色彩进行搭配。

如图 12-17 所示的某品牌生命体征监测仪的色彩设计，主体的色彩采用了白色、灰色的对比设计，对局部的按键和重要的监测数据采用了彩色的设计，监护连线部分采用了高纯度的蓝色，方便医护工作者识别。



图 12-16 无影手术灯



图 12-17 生命体征监测仪

## 12.8 “以人为中心”的医疗器械设计思想

医疗器械产品是关系到人们生命健康、安全的一种特殊产品，医疗器械的操作者和作用对象都是人，因此在医疗器械产品设计中应该“以人为中心”进行设计，来确保医疗器械产品的设计成功。

要在医疗器械产品设计中贯彻“以人为中心”的设计思想，需要做到以下几条：

### 1. 邀请医护人员和病人参与设计

医护人员和病人是医疗器械产品最直接的用户，具有一手的用户体验，邀请他们给出设计的建议，可以让设计师在设计的过程中少走弯路。

在产品设计和、样机测试的过程中邀请医护人员和病人参与测试，让他们给出最直接的感受和反馈，并及时进行修改和调试，以完善设计。

### 2. 明确医护人员、病人在产品使用中的位置

设计师在设计医疗器械产品的过程中一定要明确哪些操作要由医护人员来完成，哪些操作由病人来完成，尽量由单个用户完成医疗器械的操作，避免在使用过程中出现既需要医护人员



又需要病人参与完成的项目。

### 3. 融合多学科的知识进行设计

在进行医疗器械设计时需要工业设计师、机械工程师、医护人员共同参与设计，融合不同领域的知识和技能才能确保一款医疗器械产品的开发成功。且在设计过程中，需要多学科知识的融合、碰撞才能够产生新的创意，促进医疗器械产品的更新换代。

## 复习与思考

1. 医疗器械产品在进行造型设计时需要考虑哪两种人机系统尺度？
2. 医疗器械产品最常采用哪种配色设计？为什么要采用这样的配色？
3. 医疗器械产品外观设计的注意要点有哪些？

## 第 13 章

# 医疗器械产品造型设计实例

### 13.1 颈颅超声溶栓治疗仪简介和治疗原理

颈颅超声溶栓治疗仪主要是借助超声波进行体外治疗性超声辅助溶栓。将超声探头置于血栓形成处相对应的体表部位，超声头不接触血栓，经皮发射超声，经过水囊、机体组织和骨骼的传递，聚焦于血管内血栓，同时联合溶栓酶和（或）微泡声学造影剂介导消融血栓。机械振动效应在体内介入治疗血栓消融机制中可能占主要成分。

#### 13.1.1 原有机型的问题

厂方的现有产品如图 13-1 所示。经过与厂方设计人员和具体用户（护士、医生）的交谈，以及到病房中观察具体的使用情况，发现厂家现有产品在使用过程中存在以下问题。

##### 1. 宽度设计不合理

上方工作平台宽度较大，在病房中穿梭，以及在两张病床中间移动的时候非常不方便。



图 13-1 现有产品的机身和操作台

## 2. 缺少储物空间

除了操作平台上的几个凹槽外，整机没有其他的储物空间，因此操作平台上经常会比较杂乱。

## 3. 造型风格不统一

在原产品的造型设计中，治疗仪被分为显示屏、操作平台、机柜、地台四个部分，且四个部分的造型语言并不统一，因此视觉效果不够整体。

## 4. 色彩搭配单调

整体的色彩采用白色，比较单调，与现有的医疗产品也没有明显的区分。

## 5. 产品设计不够精致

局部细节的处理比较粗糙，和整体无法统一到一起，影响了产品的整体视觉感受。

# 13.1.2 设计改良的方向

## 1. 人机工程学设计

(1) 在悬浮托盘上设计镂空的扶手，方便护士推动车辆。设计中间的矩形凹槽，方便护士放置笔和病例等杂物，同时在托盘的左右两侧设置柱状凹槽放置超声治疗时所需的接触液。

(2) 在机体的背后设计扶手，方便护士在后方推动车辆前进。

(3) 悬浮托盘下设计有可升降的支柱，方便护士根据自己的身高调整托盘到合适的高度。

## 2. 操作台面设计

(1) 操作台面要完成的作用有支撑显示屏，存放接触液、头部探头支架，方便护士记录治疗信息等。

(2) 充分利用整机的下部空间，设计充足的储物空间，方便护士放置在使用超声治疗仪时

常用的卫生纸、接触液及其他杂物。

(3) 显示屏后方的支架采用可调整的结构, 显示屏的角度可以进行上下、左右调节, 方便护士找到合适的观察角度。

### 3. 细节设计

(1) 抽屉的设计可采用隐藏式的把手设计, 避免部件突出与人体产生磕碰, 保持机身设计的整体性。

(2) 在机箱的下部和两侧应设计有散热孔, 方便主机运行过程中产生的热量快速排出。

(3) 显示屏支架可以整体从顶部操作台面上拆卸下来, 放入机身下方的大抽屉中, 方便机身运输与拆装。

### 4. 色彩设计

在色彩的使用上, 主体采用白色以使产品更好适用于医院的环境, 局部采用深灰色进行区分, 增强产品的科技感。适当地用商家标志的蓝色对产品的细部进行装饰、区分, 增强产品外观和企业形象的联系。

## 13.1.3 超声治疗仪造型创意设计

在设计过程中, 一种较为快捷的设计方法, 就是先采用平面绘图软件 Coreldraw 绘制出产品的平面效果图, 供客户筛选, 在选择出合适的设计方案之后, 再进行三维产品模型的制作, 以提升产品设计的效率。

在颈颅超声治疗仪的设计过程中, 先采用平面绘图软件 Coreldraw 制作出八款产品的平面设计方案供厂家选择, 由于篇幅所限, 这里只介绍其中四款特色较为鲜明的设计方案。

方案 A: 采用上、中、下三层的结构设计, 顶部设计为托盘和显示屏, 在托盘上设计有推动超声治疗仪的把手和接触液槽, 如图 13-2 所示。中部设计为柜体, 且采用不规则的造型。中部设计有抽屉, 方便存放头部超声探头支架、卫生纸、接触液及其他杂物, 在中部柜体当中还要安放控制机等部件, 因此在中部的左右两侧设计有散热孔, 辅助机体进行散热。底部为滚轮支架, 采用加厚的工程塑料增加强度, 滚轮采用大号的静音滚轮, 方便推动, 且降低推动时的噪声。

色彩采用稳重的金色、黑色和灰色、黑色的搭配, 整体显得高档、时尚感强。



图 13-2 超声治疗仪效果图 A

方案 D: 在造型设计当中, 对产品的造型进行了适当简化, 将产品设计为顶部和中部两个部分, 如图 13-3 所示。顶部为显示屏和托盘, 中部的柜体和底部的滑轮支架设计为一体。在中部柜体的前面设计有两个抽屉, 方便收纳杂物。在中部柜体的两侧设计有整齐排列的散热孔, 方便机器的散热。

颜色采用白色、淡绿色和白色、淡黄色的搭配, 显得轻盈、时尚、富有亲和力。



图 13-3 超声治疗仪效果图 D

方案 F: 该方案的造型采用了较为大胆的 Z 字形造型设计, 把造型设计要求中的托盘、中柜和底部滑轮支架设计为一体的造型, 如图 13-4 所示。由于采用 Z 字形造型, 整体的造型较为新颖, 给医护工作者的腿部留出了更多的空间, 在医护工作者推着超声治疗仪前进的过程中, 腿部与治疗仪发生碰撞的概率减小。但是中柜底部的储物空间较小, 因此在中柜的上半部分的抽屉造型突出了侧面的 Z 字形造型。中柜两侧的散热孔设计为两排, 一排为长度相同的圆角矩形散热孔, 一排借助 Z 字形的倾斜造型, 整体构成一个四边形的造型。

色彩设计主体采用医护产品常用的白色、灰色色彩搭配, 显得干净整洁, 局部如把手等部分采用淡蓝色进行点缀, 显得时尚、有活力, 也使病人的心态更加放松。



图 13-4 超声治疗仪效果图 F

方案 G: 该方案的造型设计为了突出简洁、时尚、科技感强的视觉特点, 采用了与传统产品不同的造型语言, 将中部柜体的造型厚度尽可能缩减, 只留下能够容纳控制机构的空间, 使侧面看起来异常简洁, 如图 13-5 所示。在中柜的底部平台上, 设计出了一个正方形的储物槽, 方便治疗过程中杂物的存放。中部的造型二等分, 一半与顶部的托盘和底部的支架相连, 并采用同样的色彩, 另一半采用不同的色彩以与主体部分产生反差。

色彩的搭配采用浅灰色、金属色和浅灰色、深灰色的搭配, 显得简洁、时尚。



图 13-5 超声治疗仪效果图 G

### 13.1.4 设计修改和三维方案设计定型

经过与厂方的初次沟通之后，厂方选择了方案 A，并提出了修改意见，修改的地方如下：

(1) 在顶部托盘的中央加了一个较大的凹槽，方便医护工作者在使用过程中放置笔、治疗记录本等杂物。

(2) 托盘两侧的接触液凹槽设计为两侧各 1 个。

(3) 主体的色彩选择浅灰色、深灰色的搭配，局部用与商标颜色相同的蓝色进行点缀。

(4) 后部的把手与机身的中部分离，单独进行设计，减少机壳的部件，使加工更加容易。

(5) 显示屏的支架不采用平面效果图中的多节支架设计，采用现有的采购件，方便加工和生产。

(6) 机身的中柜正面采用两层的抽屉结构，方便医护工作者存放杂物。

(7) 效果图中的显示屏与实际采购的显示屏不同，更换为现有的采购件。

(8) 在机身的后部设计方便维修的盖板，方便检修。

(9) 在机身的后部设计两个塑料支座，方便缠绕电线。

根据厂方的修改要求，在三维软件中完成产品的三维模型制作，完善后的方案三维效果图如图 13-6 所示。

模型的细节如图 13-7 所示，按照厂家的要求，在机柜的下方设置了隐藏式的抽屉拉手，在机身的背面设计了绕线柱和方便检修的拆装面板，并在该面板上设计了散热孔。



图 13-6 修改后的三维效果图

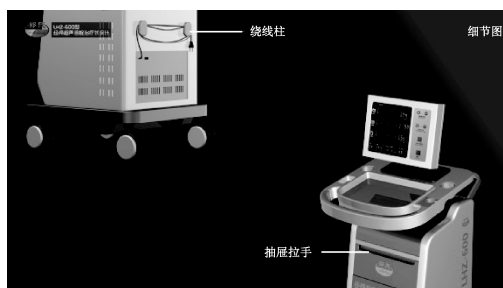


图 13-7 按厂方要求添加的细节设计

在进行产品展示的时候，一般要进行产品前、后、左、右、顶、底六个角度正视图的展示。但是该模型的底部造型缺乏看点，这里没有进行展示，修改后模型的前、后、左、右及顶部的正视图如图 13-8 所示。

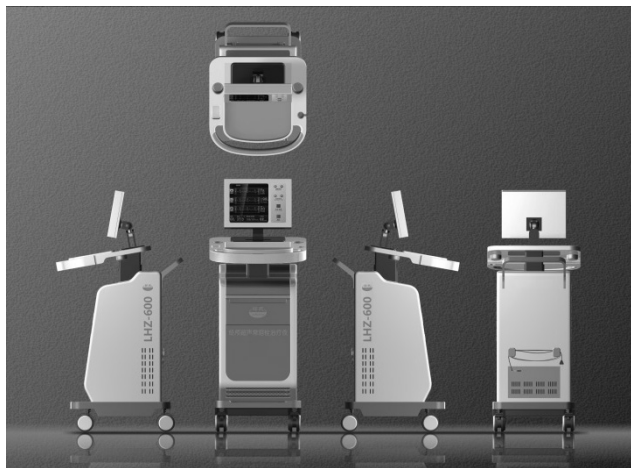


图 13-8 模型五个角度的正视图

根据厂方的要求,在深灰、浅灰配色的基础上,又完成了两种不同的配色效果,分别是白色搭配蓝色和白色搭配橘色,相较于之前的配色,显得更加清爽、时尚,如图 13-9 所示。



图 13-9 配色设计

## 13.2 药浴熏蒸机简介和治疗原理

药浴和熏蒸是一种有效的皮肤病治疗手段,是内服、外敷治疗方法的有效补充,在中国传统疗法中早就有熏蒸疗法和药浴疗法,例如桑拿浴就是一种熏蒸的方式。厂家所要求设计的这款产品就是将药浴和熏蒸这两种医疗方式结合,使医疗效果达到最佳。在药浴熏蒸机的使用过程中,根据患者的具体需要,或药浴、或熏蒸,甚至交替使用两种方法,来达到最好的疗效。在治疗过程中,可以根据患者的病情,采用不同的药物配方,可以治疗皮肤病、风湿病、感冒等疾病,还可以起到解乏、减肥的作用,这些传统疗法已经获得了相关部门的认定。

保健卫生事业发展迅速,除医院等医疗机构之外,许多洗浴及保健机构也开始提供药浴及药物熏蒸服务。除了传统的医疗器械市场以外,女性保健也是一块非常大的市场,女子水疗及其他汗蒸、熏蒸等护肤服务已经具有了很好的市场基础。厂家希望该药浴熏蒸机的造型设计既能满足医疗市场的需要,也可以满足女性保健市场的需要。

### 13.2.1 市场调研和同类产品分析

该设计由洛阳安普医疗器械有限公司委托设计。在接触到该设计任务之后，先组织师生进行系统的市场调查分析。首先进行了同类产品的调查分析，在当时的市场上，还不能找到同样具有药浴熏蒸功能的产品，只有一款江苏地区的产品具有药物熏蒸功能，但不能进行药浴，如图 13-10 所示。



图 13-10 熏蒸机开启图和角度调节图

熏蒸舱分为座舱和舱盖两个部分，舱盖部分可以沿着壳体左侧的转轴打开，方便病人进入熏蒸舱内，内部设计有符合人体弧度的座舱。舱盖闭合，形成一个封闭的空间。在熏蒸治疗的过程中，熏蒸舱的角度可以调整，熏蒸舱可以从垂直的角度调整到接近水平的角度，使人在舱内接受治疗的过程更加舒适。

在网上搜索到该产品的正视图，如图 13-11 所示。可见主机体分为两个部分，上部为熏蒸舱，下部为转轴和加压舱。

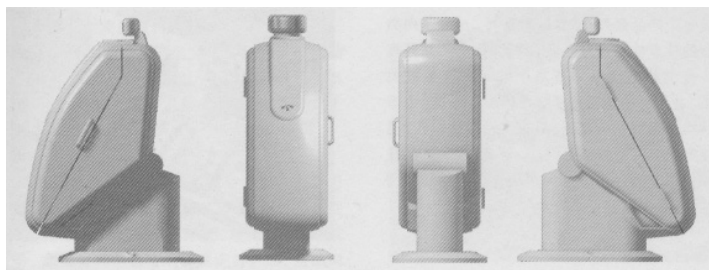


图 13-11 熏蒸机正视图

在加压舱中隐藏着加热熏蒸机，如图 13-12 所示。加压舱中的加温、加压装置对药品进行加热、加压，产生混合着药品的高压蒸汽，沿着导管进入熏蒸舱中，在熏蒸舱中与人的皮肤进行接触，起到治疗的效果。加压舱的门隐藏在药浴熏蒸机的后部，医护人员可以从机体的后部打开舱门，并更换内部的药液。

与药浴熏蒸机定位相似的还有 SPA 机，如图 13-13 所示。SPA 是指利用水资源结合沐浴、按摩、涂抹保养品和香熏来促进新陈代谢，满足人体视觉、味觉、触觉、嗅觉和思考需要，达到一种身心畅快的享受。





图 13-12 加压舱



图 13-13 SPA 机

SPA 机属于一种水疗设备，与浴缸类似，在机体内部可以使人浸泡在水中，同时还有多个喷头喷射水流，达到对人体按摩的效果，使用户得到放松和享受。SPA 机属于一种保健、休闲类产品，所以造型多采用曲线形，外观简洁、舒适，使人们乐于使用。而上述熏蒸机则属于医疗器械产品，外观没有采用大面积的曲面，而采用了曲线和直线结合造型，在边缘部分采用较大的圆角过渡，再在接缝处辅以较亮的颜色进行点缀。

## 13.2.2 设计定位

### 1. 产品构思

在调查中发现，消费者并不仅仅认为“药浴”和“熏蒸”这两项功能是医疗属性，同时也被他们看作是一种休闲、保健活动，在日常生活中也有不少人采用药浴和熏蒸的手段进行养生和保健。因此，所设计的药浴熏蒸机不能看起来过于生硬，还要让人感觉舒适，容易接近，医疗卫生和休闲保健产品的特点都应该在该产品上有所表现。

根据对市面上现有产品的分析，与厂家沟通之后，得出了以下设计构思：

(1) 外观时尚、科技感强。外观设计是吸引患者的第一步，外观好看，也可以给患者安全、可靠的感觉，因此要求有太空舱的感觉，让患者感觉到新颖、时尚、科技感强，既像一款医疗产品又可以进入保健市场。

(2) 治疗姿势可调。在治疗过程中以坐姿为主，考虑熏蒸治疗的时间较长，患者治疗时容易入睡等因素，药浴熏蒸机应能够方便地由坐姿转化为躺姿。

(3) 头部和身体隔离。虽然治疗的过程都采用天然的中草药，但是中草药在熏蒸过程中产生的气体依然较难闻。因此治疗时，应使患者身体罩于舱体内，头部位于舱外，既免受药物的熏蒸之苦，也可以在治疗的同时看电影、听音乐、与旁人交谈。

(4) 熏蒸温度可调。熏蒸治疗的过程需要一定的温度，如果温度较低，则没有办法萃取出中药中的有效物质；如果温度太高，过热的水蒸气还可能烫伤患者的皮肤。同时不同的人对温度的耐受能力不同，因此，应允许患者在一定范围内自行控制温度。

(5) 药液更换方便。每名病人的治疗时间在 40 分钟左右，在病人进行轮换的过程中，医护人员要排出废液、清洗座舱，还要根据不同患者的病情，尽快更换药物。因此要设计药液的更换口，提高更换药液的效率。

(6) 体积小型化。由于医护场所人员多，空间有限，应尽量压缩空间。该产品将来还希望能够进入保健市场，而保健市场对产品的体积要求更加敏感。因此要求在保证产品功能的前提

下, 尽可能压缩产品的空间, 实现体积的小型化。

(7) 便于移动。由于医疗和保健市场中大多数的服务人员为女性, 力量较小, 因此希望能够减轻设备的整体重量, 并在设备的底部安装滚轮, 方便服务人员推动。

(8) 可靠性高。药浴熏蒸机的使用概率较高, 每天要面对的患者也较多, 药浴熏蒸机至少要承受一个成年人的重量。且内部要容纳大量的液体, 还有高温、高压的蒸汽, 因此一定保证结构的可靠性, 使病人和医护工作者能够放心地使用, 减小事故发生的概率。

(9) 实现自动化操作。由于医护工作者多为女性, 而病患男女都有。且进行药浴熏蒸的过程中需要露出大部分的身体, 因此在治疗过程中多有不便。因此应通过编程, 使药浴熏蒸机能够通过简单的设置就可以自动完成药浴熏蒸的治疗操作, 如果在治疗过程中出现问题, 可以及时报警, 减少护理人员与病患的接触时间。

(10) 设置多媒体娱乐系统。由于药浴熏蒸的治疗时间较长, 因此要设置多媒体娱乐系统, 使患者在治疗的过程中可以听听音乐、看看电影。但是由于熏蒸舱是密封的, 因此应该在密封舱设计一个控制口, 方便患者在治疗过程中调节娱乐系统。

(11) 设置清水冲淋系统。在药浴熏蒸治疗完毕, 患者的身上还残留有药渣和药味, 因此在药浴熏蒸机上要设计有清水冲淋系统, 在药浴熏蒸治疗完毕, 患者可以在药浴熏蒸机旁用清水冲淋身体, 在清洁完毕之后, 穿上衣服离开治疗间。

## 2. 确定人体的角度

产品的人机工程学设计决定着人在使用产品时的舒适性, 该产品的主要用户是患有皮肤病的病人, 因此确定病人在药浴熏蒸机中的身体状态是进行产品造型设计的第一步。

由于人体在药浴熏蒸机当中, 既要进行熏蒸还要进行药浴, 所以人体应该能够浸泡在药液当中。人体要能够浸泡在药液中, 人的背部就应该与水平面形成一定的角度, 而不能平躺, 因为平躺无法让人浸泡在药液当中。

人体的背部与水平面的夹角越小, 人的舒适性越强; 人体的背部与水平面的夹角越大, 人的舒适性越差, 但占地面积越小, 在药浴的过程中也更节省水资源。综合考虑, 采用人体背部与水平面成  $35^\circ$  的夹角, 既保证人体的舒适性, 又使人体能够浸泡在水中, 还节约了占地面积, 如图 13-14 所示。

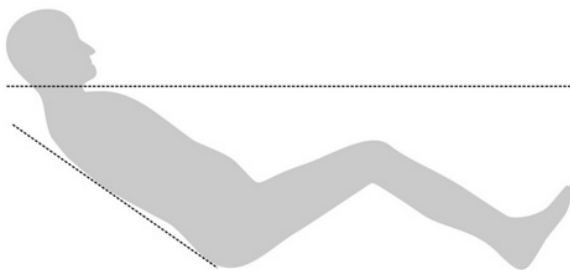


图 13-14 背部与水平面夹角示意图

## 3. 色彩设计定位

色彩是产品设计中至关重要的因素, 色彩可以改变产品造型的感觉及形成心理上的不同感

受。色彩同样要根据产品概念和设计概念来确定。基于产品的概念,产品必须符合“何时”、“何地”、“何人”使用的原则。药浴熏蒸治疗机属于医疗和保健产品,而医疗和保健产品往往使用浅色、本白和灰色等色彩。

在药浴熏蒸机的造型设计中,为了凸显干净、卫生、整洁的设计目标,在产品外观设计中主要采用白色,局部辅以蓝、绿等时尚、活力的色彩作为点缀。

### 13.2.3 创意设计方案

#### 1. 方案一

采用太空舱的设计理念,整体造型圆润、流畅,富有科技感、时尚感。上部采用大翻盖的设计,转轴设计在左侧的壳体和底部的结合处。在机盖部分和底座部分分别设计有一条蓝色的装饰条,装饰条采用曲线化设计,流畅、生动,像水一样,与产品是药浴熏蒸产品的主题相契合,既美观又丰富产品的造型变化,如图 13-15 所示。

#### 2. 方案二

同样采用太空舱的设计理念,整体造型圆润、流畅,富有科技感、时尚感。上部采用大翻盖的设计,转轴设计在左侧的壳体和底部的结合处。在机盖部分设计有大面积的蓝色透明视窗,方便医护工作者观察患者在洗浴过程中的状态。底部采用对称的船式造型,使用户感觉到安全、稳定、平衡,如图 13-16 所示。



图 13-15 方案一效果图

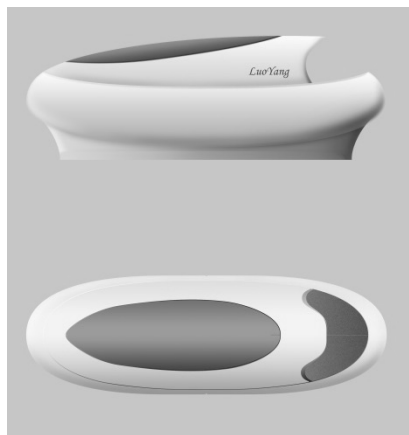


图 13-16 方案二效果图

#### 3. 方案三

方案三同样采用游艇的设计理念,方案在局部的造型设计上有一些变化,装饰线条由蓝色变化为绿色,使整体造型充满活力、富有生气,在上盖的顶部设计有操控屏幕,方便医护人员进行操作程序的设定,如图 13-17 所示。



图 13-17 方案三效果图

### 13.2.4 方案选定和设计修改

#### 1. 初步选定设计方案

在经过与厂方的沟通之后，选择方案一为初步设计方案，但由于方案一的曲面加工难度较大，将曲面的弧度修改得更加平滑，在药浴熏蒸机的底部为了人体头部的舒适性，在机壳的外部增加头枕，使病人在洗浴的过程中更加舒适，如图 13-18 所示。



图 13-18 初步设计方案侧面效果图

完成后的初步效果图如图 13-19 所示，在进行产品设计方案展示的过程中，一般都会进行左右 45° 角的展示。

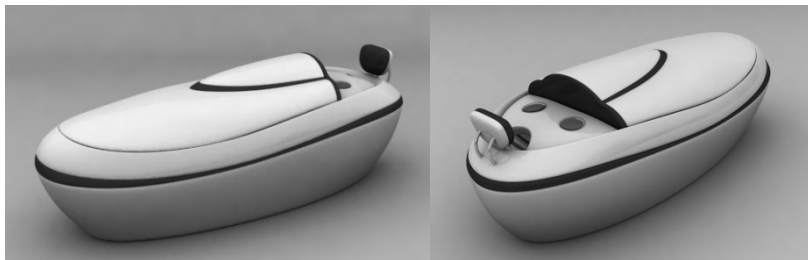


图 13-19 初步设计方案的左右 45° 角展示效果图

产品完成之后的尺寸图如图 13-20 所示。

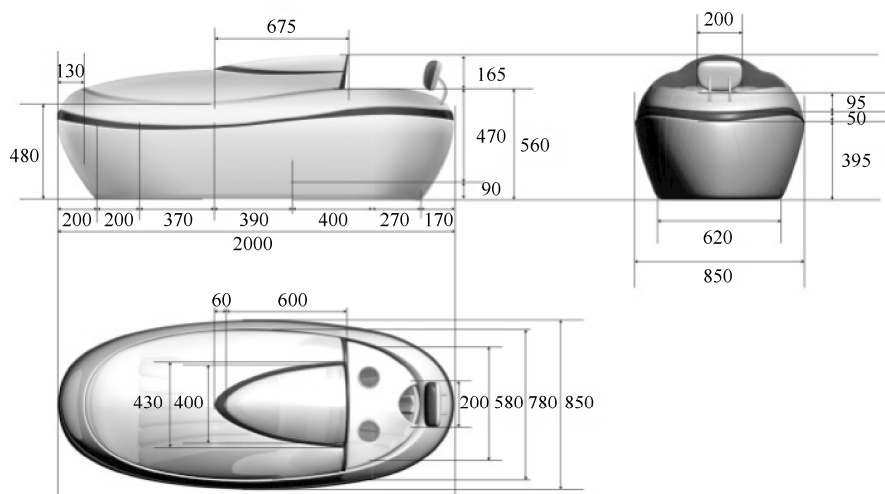


图 13-20 初步设计方案尺寸图

## 2. 定稿设计方案

在初步设计方案的完善和修改过程中,发现由于药浴熏蒸机当中需要安放的设备比较多,而初步设计方案侧面的弧度较大,无法安放较多的设备。厂方要求对设计方案进行修改,将设计方案修改为较为方正的底部造型,以给底部的设备更多的空间,修改后的造型设计效果如图 13-21 所示。



图 13-21 修改后的药浴熏蒸机造型

药浴熏蒸机的底部为内外两层结构,内部有一层壳体,在内部加水和坐上人之后重量过大,因此在药浴熏蒸机内部需要用方形钢管弯曲加固,形成内部的支架,以保证结构的可靠性,如图 13-22 所示。

药浴熏蒸机的内部钢管支架与内部壳体的结合效果如图 13-23 所示。

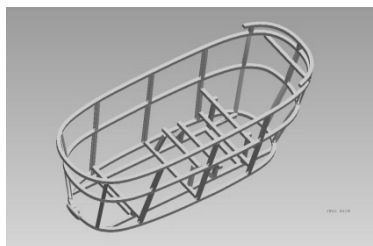


图 13-22 内部钢管支架

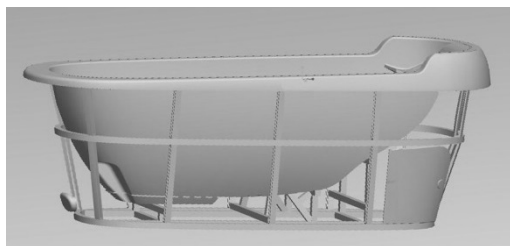


图 13-23 内部钢管支架与内部壳体的结合效果

药浴舱内部的壳体效果如图 13-24 所示,在壳体内部设计有符合人体曲线效果的曲面支撑,在支撑曲面上设计有条状突起,以支撑起人体,使药浴液体与人体背部患病皮肤进行充分的接触。在壳体底部左侧设计有脚撑,使人在躺入药浴机内时,脚部能得到更好的支撑,提升人在浴缸内部的整体舒适度。

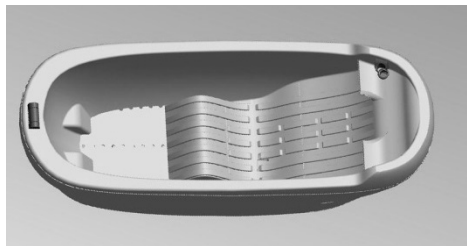


图 13-24 药浴舱内部的壳体效果

在内壳体顶部左侧设计有转轴,用来连接药浴机的底部和顶部。在药浴机的顶部右侧设计有花洒的支架,病人在完成药浴之后,可以用花洒喷淋身体,去除残留的药液。

药浴熏蒸机底部外壳体的造型如图 13-25 所示,在壳体的底部左侧设计有排水孔,在药浴熏蒸完毕之后,将产生的液体从这个孔位排出。在药浴熏蒸机的底部右侧设计有一扇小门,方便更换产生药浴蒸汽的高压装置。

药浴熏蒸机的上部同样为内外两层结构,内层分为下部壳体和娱乐面板部分两块。下部壳体和底部箱体形成一个封闭的空间,仅留下一个比人体颈部粗的孔,把人体的头部外漏在下部机体之上,颈部和机体形成的空隙部分可用湿毛巾封堵,以免熏蒸过程中产生的气体泄漏,进入人的鼻腔,引起人体的不适。

中部的娱乐面板部分,给进行熏蒸的病人提供娱乐。左右两侧的圆形孔位用来安装音箱,上部的方形孔位用来安装显示屏,下部的方形孔位用来安装娱乐系统的操控面板,如图 13-26 所示。

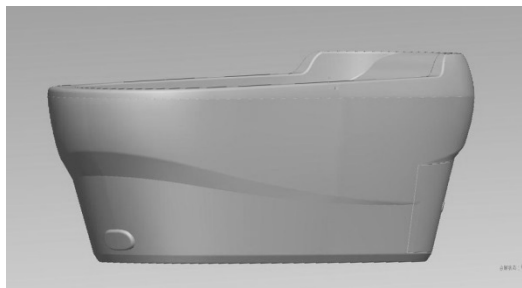


图 13-25 药浴熏蒸机底部外壳体的造型

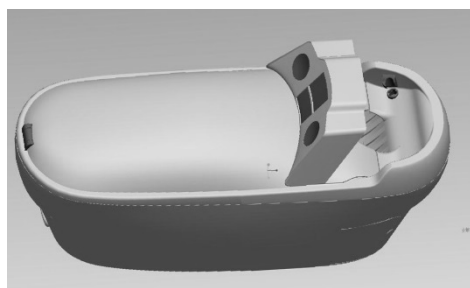


图 13-26 娱乐系统造型设计

药浴熏蒸机上盖的外壳体造型如图 13-27 所示,主体采用与下壳体同色的工程塑料材质制成,在左右两侧用深蓝色进行装饰,以使整体造型在统一中富于变化。从图 13-27 中可以看到,在娱乐面板的下方设计有圆形的孔洞,该孔用盖板进行密封,在需要调节娱乐系统时,进行药浴的患者可以打开该面板,将手从该孔中伸出调节娱乐系统。

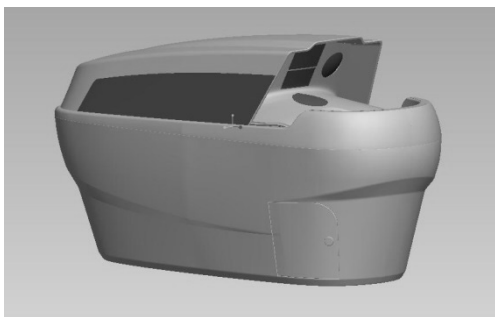


图 13-27 上壳体外盖板和娱乐系统操作孔

设计完成后的药浴熏蒸机工程图如图 13-28 所示,整机的长度为 1994mm,高度为 1011mm,宽度为 711mm。

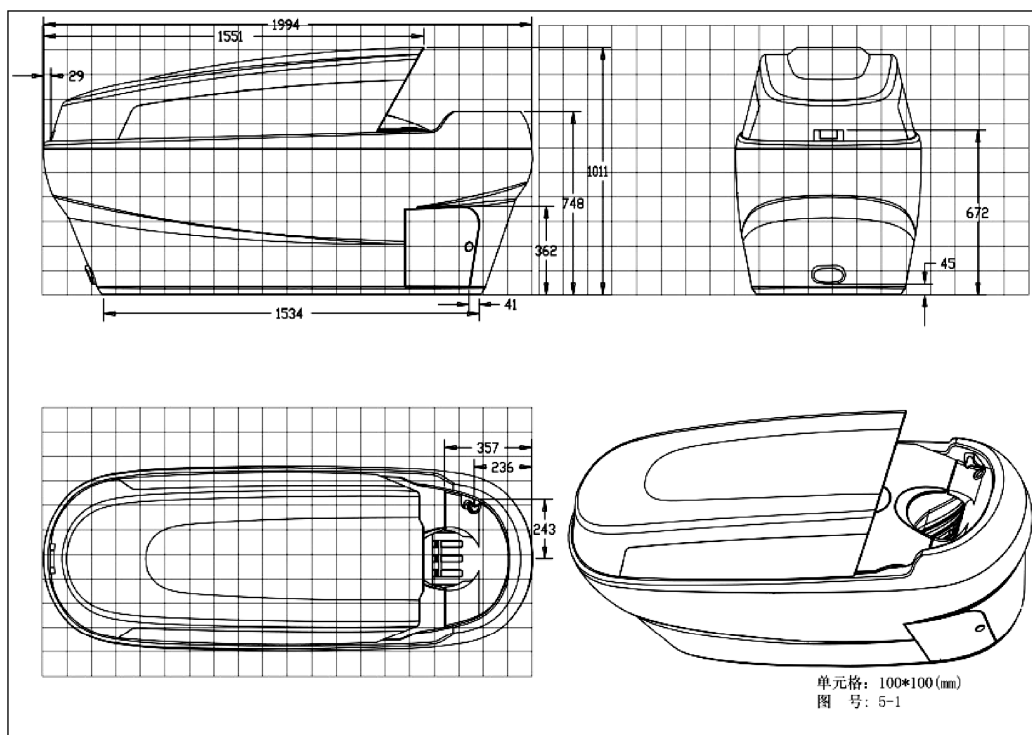


图 13-28 药浴熏蒸机工程图

该产品的爆炸图如图 13-29 所示,采用纵向分布的方式,将该产品的结构展示给各位读者。除了刚才介绍的外壳部分的造型设计外,在药浴熏蒸机下部的空隙部分还安置了控制机,中药加压、加热装置,水加压、加热装置等。

该产品外壳采用白色工程塑料材质制成,上盖的左右两侧用蓝灰条纹进行装饰,最终的效果图如图 13-30 所示。该方案具有药物熏蒸、药水浸泡、穴位磁疗、洗浴等功能,而且具有液晶显示操作系统,使其操作更加便捷。在造型设计上采用了太空舱的造型设计元素,整体造型新颖、时尚、轻巧,该产品既可以在医院和保健场所使用,也可以被部分经济实力较好的病患购买,在家中使用。



图 13-29 药浴熏蒸机爆炸图



图 13-30 药浴熏蒸机效果图

## 复习与思考

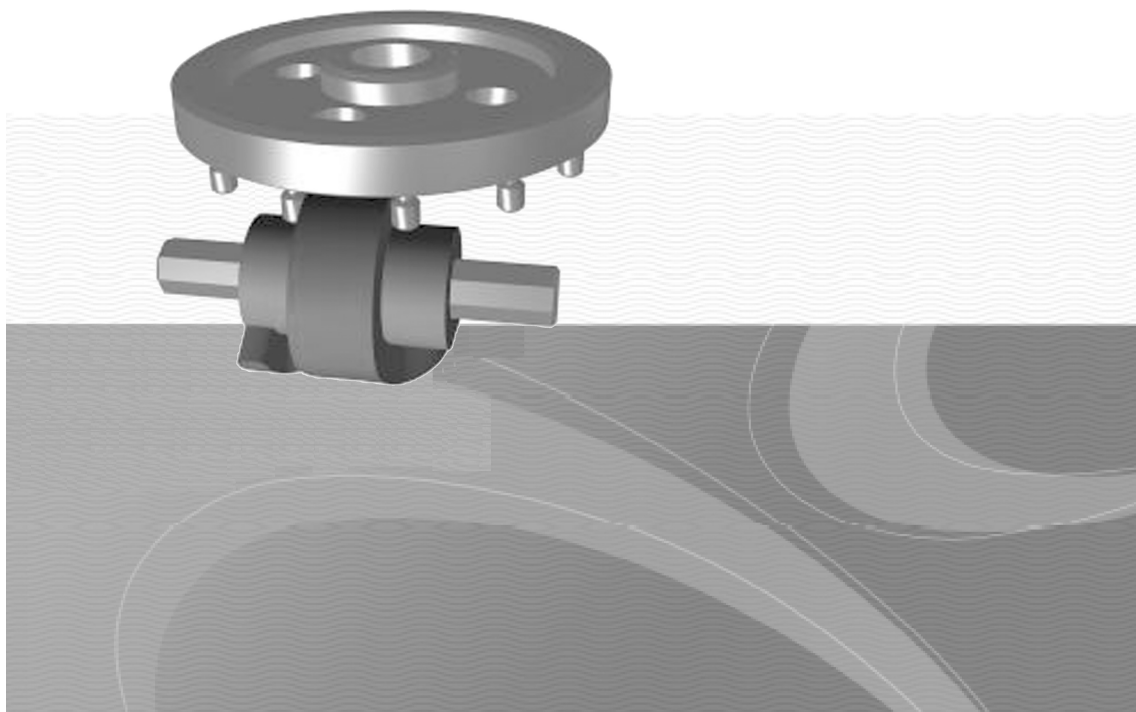
1. 在医疗器械产品外观设计的过程中，如何将产品的功能和造型进行很好的结合？是产品的造型更重要还是产品的功能更重要？
2. 在医疗器械产品外形设计中有哪些需要注意的要点？
3. 在医疗器械产品设计的过程中，哪些部分应该按照医护人员的需求进行设计？哪些部分应该按照病人的要求进行设计？



# 第五篇

## 医疗器械产品的 计算机辅助设计

计算机辅助设计（CAD）于 1963 年由美国麻省理工学院（MIT）首次提出，其应用领域遍及机械、电子、医疗、工业设计等各个行业。CAD 的使用极大地提高了产品质量，缩短了产品从设计到生产的周期，降低了产品的成本。SolidWorks 是一款简单易学并有强大建模与辅助分析功能的三维 CAD 设计软件，比较适合医疗器械方向的学生使用。第 14 章将重点介绍 SolidWorks 的基本操作、草图绘制、参考几何体、基本特征、装配体和工程图等计算机辅助设计知识和技能；第 15 章将以医院广泛使用的检测设备全自动生化分析仪的取样装置为例，详细介绍医疗器械产品结构设计过程。



## 第 14 章

# SolidWorks 设计基础

SolidWorks 软件是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统，符合 Windows 用户的窗口操作习惯，其技术创新符合 CAD 技术的发展潮流和趋势。由于 SolidWorks 简单易学并有强大的建模与辅助分析功能，比较适合医疗器械方向的同学使用。本章将重点介绍 SolidWorks 的基本操作、草图绘制、参考几何体、基本特征、装配体和工程图等计算机辅助设计知识和技能。

### 14.1 SolidWorks 用户界面与基本操作

#### 14.1.1 用户界面

SolidWorks 的操作界面是用户对文件进行操作的基础，如图 14-1 所示为选择了新建【零件】文件后 SolidWorks 的初始工作界面，包括菜单栏、工具栏、特征管理器设计树、绘图区、状态栏及前导视图工具栏等。在绘图区已经预设了三个基准面和位于三个基准面交点的原点，这是建立零件最基本的参考。

## 1. 菜单栏

在默认情况下, SolidWorks 菜单栏是隐藏的, 可将鼠标指针移动到 SolidWorks 徽标上使其重新显示。菜单栏包括【文件】、【编辑】、【视图】、【插入】、【工具】、【窗口】、【帮助】七个菜单项, 如图 14-1 所示。在每个菜单底部都有【自定义菜单】命令, 选择该命令, 进入自定义菜单状态, 此时所有菜单命令都会显示出来。在菜单命令前有一个复选框, 只要勾选复选框, 菜单就会显示出来, 取消复选框, 菜单隐藏, 如图 14-2 所示。

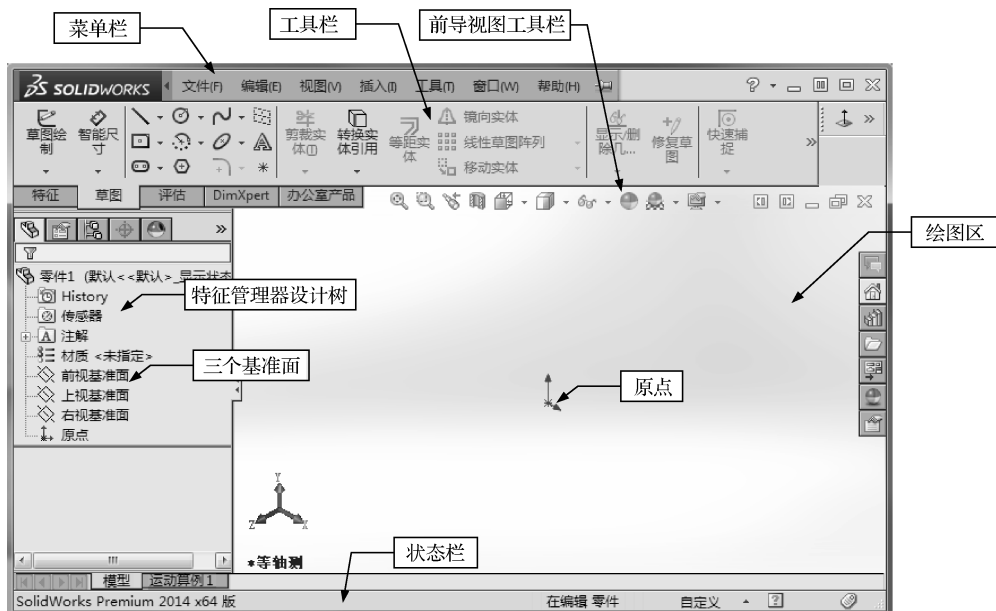


图 14-1 SolidWorks 初始工作界面



图 14-2 自定义菜单栏

## 2. 工具栏

工具栏位于菜单栏下方，用户可以根据需要自定义工具栏的位置和显示内容。通过工具栏按钮调用命令非常快捷，但由于 SolidWorks 命令太多，受窗口大小限制，不能将所有命令显示出来，用户可以调整工具栏中的命令按钮以适应自己的需要。命令管理器将各种快捷命令图标集合在【特征】、【草图】、【评估】、【DimXpert】四大栏中，如需创建特征，可以切换至【特征】栏，该栏中包含了零件上各种常用快捷命令。

在【工具】菜单下的【自定义】对话框中，设计人员可以自定义下拉菜单和工具栏的显示方式及显示哪些选项和工具栏，如图 14-3 所示。



图 14-3 【自定义】对话框

## 3. 特征管理器设计树

FeatureManager 设计树（特征管理器设计树）提供了激活的零件、装配体、工程图的大纲视图。通过设计树可以方便地查看模型或装配体构造，可以在设计树的任务窗格中选择特征、草图、工程视图和构造几何体，也可以了解装配体中各零件的装配顺序和零件中各个特征的添加顺序。设计树中包含了三个系统默认基准平面，用户可直接在上面画草图。

## 4. 状态栏

状态栏位于 SolidWorks 窗口底部，显示出与用户当前执行命令相关的信息，如：

- 将鼠标指针移到工作界面某一图标上时，会在状态栏显示出图标的定义；
- 测量特征时，会反馈出测量信息；

- 绘制草图截面时，会显示草图状态。

## 5. 前导视图工具栏

前导视图工具栏在绘图区上方显示，如图 14-4 所示。使用此视图工具栏控制模型的视图，包括视图方向、显示样式、剖面视图、编辑外观、应用布景等。实际设计中，使用此工具栏极为方便。



图 14-4 前导视图工具栏

## 14.1.2 基本操作

### 1. 环境设置

用户可以根据自己的需要和习惯，定制属于自己的 SolidWorks 操作环境，可以设置工具栏中显示的标签和按钮，以及系统的操作环境等。本节主要向读者传达一个思想：可以在 SolidWorks 中定制完全符合个人需要和习惯的操作环境。软件的默认设置几乎符合用户的大部分使用需求和操作习惯，通常不需要专门设置，这里仅向读者演示设置 SolidWorks 环境的一些操作步骤，具体的设置选项还需要根据实际需求来确定。

#### 1) 设置背景颜色

【新建】一个零件后，系统默认背景是【三点渐退】。如果需将背景设为白色，可执行如下操作：选择【工具】→【选项】命令，系统弹出【系统选项-普通】下拉列表，在【系统选项】选项卡中选择【颜色】选项，在右侧【颜色方案设置】列表中选择【视区背景】→【编辑】命令，此时弹出【颜色】对话框，根据需要选择颜色后单击【确定】按钮，完成背景颜色设置，如图 14-5 所示。

#### 2) 设置系统单位

绘图前需要设置系统单位，设置单位操作如下：选择【工具】→【选项】命令，系统弹出【系统选项-普通】下拉列表，在【文档属性】选项卡中选择【单位】选项，在右侧【单位系统】列表中选择实际需要的单位后单击【确定】按钮，完成单位设置，如图 14-6 所示。

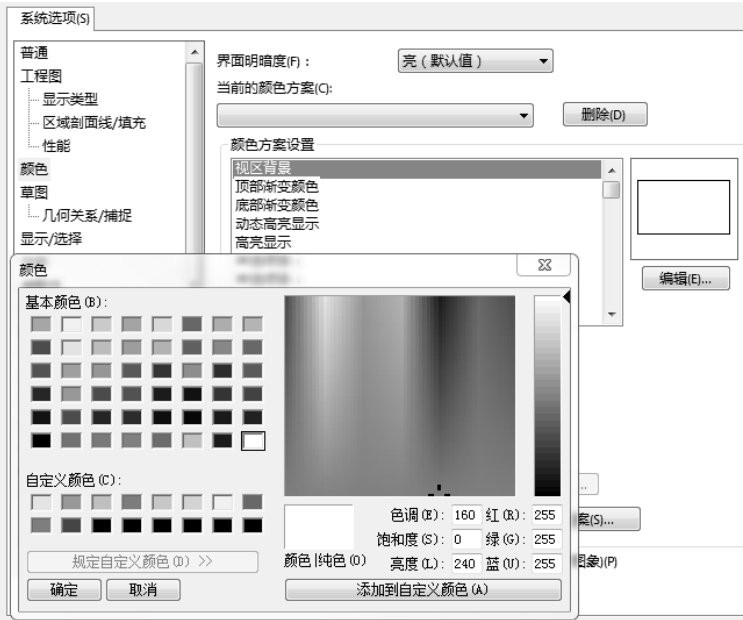


图 14-5 设置背景颜色与单位



图 14-6 设置系统单位

2. 操作流程

使用 SolidWorks 进行设计产品，通常包含了该软件所提供的三类文件：零件、装配体和工程图文件。其中零件文件是完成装配体和工程图文件的基础，在 SolidWorks 中，通常在零件环境下进行零件建模；将完成的模型在装配体环境中进行配合以生成装配体；最后将零件和装配体导入到工程图文件中，制作工程图，其操作流程如图 14-7 所示。

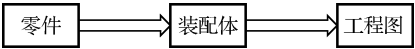


图 14-7 SolidWorks 操作流程

### 3. 文件操作

#### 1) 新建文件

单击标准工具栏中的【新建】按钮（或者单击菜单栏中的【文件】→【新建...】命令），弹出【新建 SolidWorks 文件】对话框。选择文件类型（零件、装配体或者工程图）图标，单击【确定】按钮，建立相应类型的文件。

#### 2) 打开文件

完成零件的建模后，将零件进行保存。对于已有的文件，可以通过下列两种方式之一来打开：

（1）SolidWorks 未启动状态下。在 Windows 资源管理器中浏览至目标文件所在的目录，直接双击 SolidWorks 文件，打开文件。

（2）SolidWorks 启动状态下。单击标准工具栏中的【打开】按钮（或者单击菜单栏中的【文件】→【打开】命令），弹出【打开】对话框；浏览至目标文件，选择该文件后，将在【缩略图】选项卡中显示该文件的缩略图，单击【打开】按钮，打开选择的文件。

#### 3) 保存文件

同 Microsoft Office 保存文件类同，可以保存文件，也可以另存储文件，这里不再赘述。

#### 4) 关闭文件

由于 SolidWorks 是在一个工作界面中打开多个文件的，因此要关闭文件，需要先激活欲关闭的文件窗口，可以通过如下方法之一来关闭文件：

（1）如果同时打开了多个 SolidWorks 文件，可以将文件窗口还原或者最小化，再选择需要关闭的窗口，单击文件窗口中的【关闭】按钮，将关闭目标文件，但不关闭软件。

（2）如果同时打开了多个 SolidWorks 文件，可以使用【Ctrl】+【Tab】组合键来切换显示的窗口，单击文件窗口中的【关闭】按钮，将关闭目标文件，但不关闭软件。

（3）关闭软件，将关闭软件 and 所有打开的文件。

### 4. 鼠标操作

- 单击鼠标左键：选择实体或取消选择实体；
- 单击鼠标右键：弹出相应的下拉菜单；
- 向上滚动鼠标滚轮：放大视图；
- 向下滚动鼠标滚轮：缩小视图；
- 按住鼠标中键并移动鼠标：旋转视图；
- 按住【Ctrl】键和鼠标中键并拖动鼠标：移动视图；
- 按住【Ctrl】键同时单击鼠标左键：选择多个实体或取消实体选择；
- 按住【Ctrl】键和鼠标左键并拖动鼠标：复制所选实体。

## 14.2 草图绘制


草图是建模的基础。在 SolidWorks 零件中，空间是三维的，因此绘制草图需要为草图选择


草图绘制平面，草图绘制平面可以是视图基准面、模型面和添加的基准面。一张草图包含草图绘制平面和草图实体（草图的内容）两部分，可以理解为如果要绘制一个草图就必须选择一个平面，选择了绘制平面，绘制了线条后才是一个完整的图。

## 14.2.1 草图绘制基础

### 1. 进入草图绘制模式


绘制二维草图，必须进入草图绘制状态。草图必须在平面上绘制，这个平面可以是基准面，也可以是三维模型上的平面，总之，必须指定基准面。进入草图模式有以下两种方式：


（1）在空白视图上绘制草图：单击【草图】面板上的【草图绘制】按钮，在绘图区选择一个平面即可进入草图绘制模式。


（2）在已有三维零件上绘制草图：在已有零件上选一平面作为绘图平面，单击【草图】面板上的【草图绘制】按钮，即可开始在该面上进行草图绘制。

### 2. 退出草图绘制模式

草图绘制完毕后，可立即建立特征，也可退出草图绘制模式再建立特征。退出草图绘制模式的方法有三种：

（1）单击【标准】工具栏中的（重建模型）按钮。

（2）单击【草图】工具栏中的（退出草图）按钮。

（3）单击图形区确认角落的图标.

### 3. 草图绘制流程

（1）新建文件，制定绘图平面。

（2）进入草图绘制模式。

（3）选择草图绘制工具，绘制草图。

（4）选择智能尺寸工具，标注草图尺寸，建立约束关系。

（5）退出草图绘制模式或生成特征。

## 14.2.2 绘制草图实体

### 1. 草图绘制与编辑工具

绘制草图的工具主要有：点、中心线、直线、圆心/起/终点画弧、切线弧、3点圆弧、圆、周边圆、椭圆、椭圆弧、矩形多边形、平行四边形、抛物线、样条曲线、拟合样条曲线、表面上的样条曲线和文字等，如图 14-8（a）所示。

编辑草图的工具主要有：转换实体引用、镜向实体、等距实体、从选择生成草图、剪裁实体、草图延伸、线性草图阵列、圆周草图阵列、移动草图、复制草图、旋转草图、按比例缩放草图、修改草图、修复草图、检查草图合法性、显示/删除几何关系等，如图 14-8（b）所示。



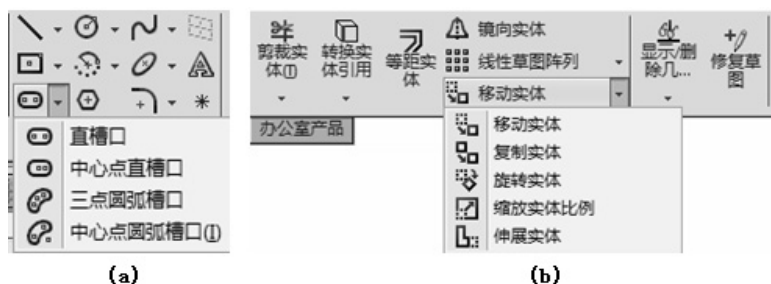


图 14-8 草图绘制与编辑工具

## 2. 绘制草图

草图是 SolidWorks 中进行零件建模、装配体操作和制作工程图的基础，这些草图是由基本的草图实体构成的，再通过添加驱动、标注尺寸和草图几何关系，来约束这些草图实体的大小和位置。SolidWorks 提供了一些基本的命令来生成草图实体，如直线、圆、矩形等。下面介绍这些命令的使用方法。

### 1) 点

【点】命令用于绘制点，点一般不参与零件建模，主要用于尺寸定位、添加几何关系和复制特征等。

单击【草图】标签下的【点】按钮（或者单击菜单栏下的【工具】→【草图绘制实体】→【点】命令），移动鼠标至绘图区域，在图形区域单击以放置点，【点】命令保持激活，可继续插入点。如果要结束绘制点，再次单击【草图】标签下的【点】按钮（或者单击菜单栏下的【工具】→【草图绘制实体】→【点】命令）。

### 2) 直线

【直线】命令用于绘制直线段、中心线，也可以用来绘制圆弧。单击一点作为线段的起点，移动鼠标至另一位置单击，作为线段的终点，即在起点和终点之间生成一条线段，如图 14-9 (a) 所示。

### 3) 矩形

【矩形】命令用于绘制矩形和平行四边形。生成矩形有多种方式，如以矩形的对角点来生成一个矩形，或者以矩形中心生成矩形等。在 SolidWorks 中，通过选择“矩形类型”，可以用不同的方式绘制矩形，如图 14-9 (b) 所示。

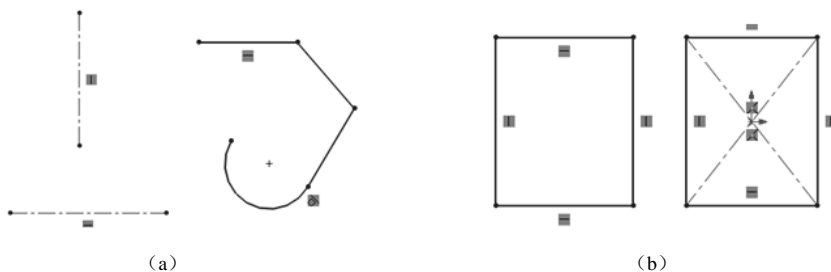


图 14-9 直线与矩形

#### 4) 多边形

【多边形】命令用于绘制正多边形，为正多边形设定边数和生成正多边形的方式，即可生成所需的正多边形，如图 14-10 所示。

#### 5) 圆

【圆】命令用于绘制圆。根据圆的定义方式，SolidWorks 提供了两种绘制圆的方式，圆心、半径方式和圆周上 3 个点方式，如图 14-11 (a) 所示。

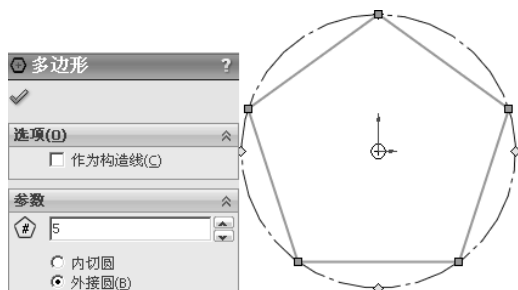


图 14-10 多边形

#### 6) 圆弧

【圆弧】命令用来绘制圆弧。根据圆弧的定义方式，在 SolidWorks 中给出了三种圆弧类型：圆心/起/终点画弧、切线弧和 3 点圆弧，如图 14-11 (b) 所示。

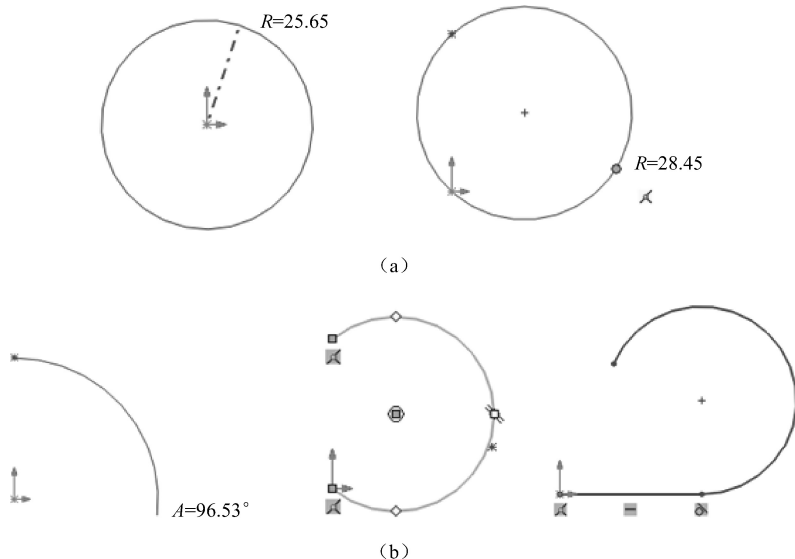


图 14-11 圆与圆弧

#### 7) 样条曲线

【样条曲线】命令用来绘制样条曲线。样条曲线通过连接两个或两个以上的点形成，绘制过程如图 14-12 (a) 所示。样条曲线绘制完毕后，选择要修改的样条曲线，此时曲线上会出现点，按住鼠标左键拖动这些点即可修改，如图 14-12 (b) 所示。

#### 8) 椭圆

【椭圆】命令用于绘制椭圆，需要为椭圆指定中心、短半轴长和长半轴长，如果两个轴长相等，则生成圆，如图 14-13 (a) 所示。

#### 9) 抛物线

【抛物线】命令用于绘制抛物线，需确定抛物线的焦点，然后确定抛物线的焦距，最后确

定抛物线的起点和终点, 如图 14-13 (b) 所示。

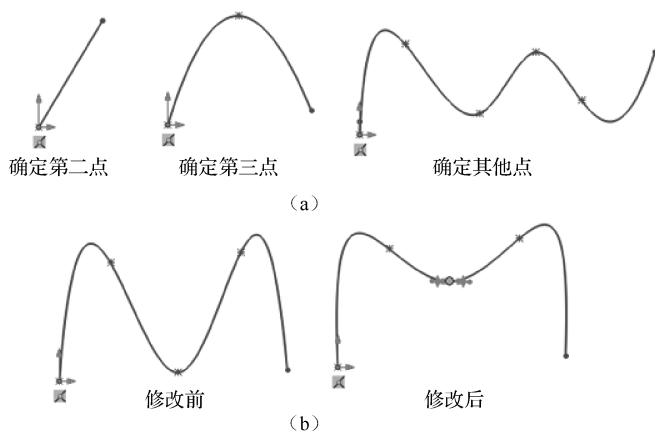


图 14-12 样条曲线的绘制与修改

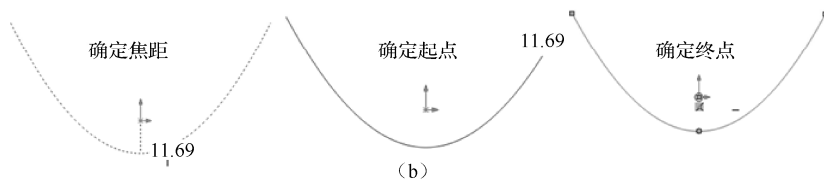
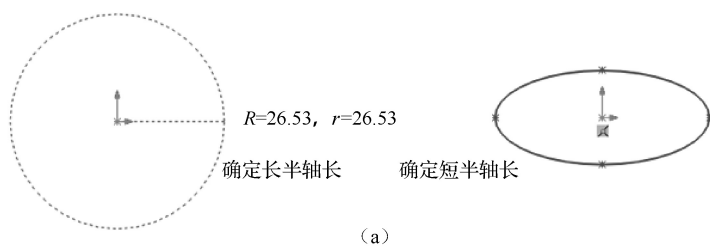


图 14-13 椭圆与抛物线

#### 10) 文字

【文字】命令用于在草图中绘制文字, 需要为文字选择其依附的曲线。在任何连续曲线或边线组中, 包括零件面上由直线、圆弧或样条曲线组成的圆或轮廓之上绘制文字, 文字和草图一样, 可以用于特征操作, 如图 14-14 所示。

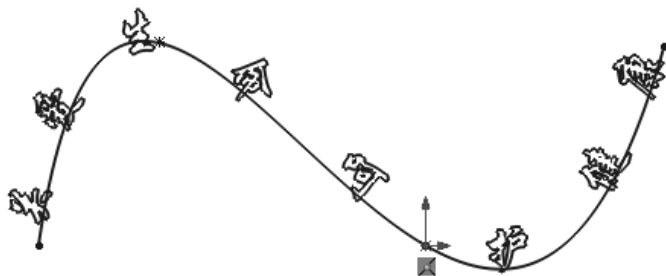


图 14-14 草图文字

### 11) 槽口

【槽口】命令用于直接绘制各种类型的槽口，包括直槽口和圆弧槽口。SolidWorks 提供了四种槽口类型，分别是直槽口、中心点直槽口、三点圆弧槽口和中线点圆弧槽口。直槽口与圆弧槽口如图 14-15 所示。

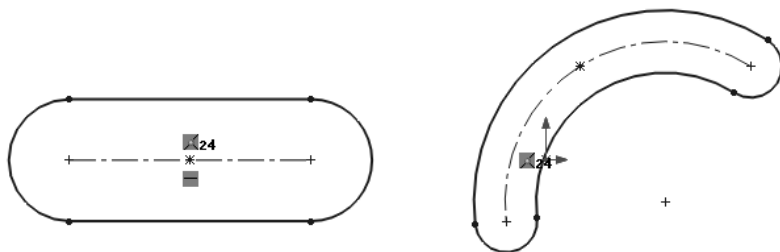


图 14-15 直槽口与圆弧槽口

## 3. 编辑草图

通过草图实体绘制工具绘制基本的草图实体后，下一步可以利用草图编辑工具进一步对基本草图实体进行编辑。这里仅对一些常用的编辑方法进行介绍。

### 1) 裁剪草图实体

【剪裁实体】命令用于剪裁草图实体，根据所剪裁的草图实体可以选择不同的剪裁类型，SolidWorks 提供了五种剪裁方式：强劲剪裁、边角、在内剪除、在外剪除和剪裁到最近端。

单击【草图】标签下的【剪裁实体】按钮（或者单击菜单栏下的【工具】→【草图工具】→【剪裁】命令），弹出【剪裁】属性管理器（见图 14-16（a）），根据剪裁的草图实体选择合适的剪裁方式。这里重点介绍最常用的强劲裁剪方法。



图 14-16 剪裁、等距实体与转换实体引用

(1) 在【剪裁】属性管理器中选择强劲剪裁。

(2) 单击位于第一个实体旁边的图形区域，然后拖动穿越要剪裁的草图实体。指针在穿过并剪裁草图实体时变成，沿剪裁路径生成一轨迹。

- (3) 继续按住指针并拖动穿越想剪裁的每个草图实体。
- (4) 在完成剪裁草图时释放指针，然后单击【确定】按钮。

## 2) 等距实体

绘制等距实体在建模过程中经常采用，可以使绘图效率明显得到提高。在 SolidWorks 中提供了按特定的距离等距一个或多个草图实体、所选模型边线或模型面。生成草图等距实体的操作步骤如下：

- (1) 在打开的草图选择一个或多个草图实体、一个模型面或一条模型边线。
- (2) 单击 CommandManager 草图上的等距实体工具，或单击【草图】工具栏上的等距实体工具，或单击【工具】→【草图工具】→【等距实体】命令。
- (3) 在【等距实体】属性管理器中根据需要设定等距参数，如图 14-16 (b) 所示。
- (4) 单击【确定】按钮，完成等距实体的创建。

## 3) 转换实体引用

转换实体引用通过投影一边线、环、面、曲线、外部草图轮廓线、一组边线或一组草图曲线到草图基准面上，在草图中生成一条或多条曲线。转换实体引用的操作步骤如下：

- (1) 在打开的草图中单击一模型边线、环、面、曲线、外部草图轮廓线、一组边线或一组草图曲线。
- (2) 单击 CommandManager 草图上的转换实体引用工具，或单击【草图】工具栏上的转换实体引用工具，或单击【工具】→【草图工具】→【转换实体引用】命令。
- (3) 在【转换实体引用】属性管理器中单击【选择链】转换所有相邻的草图实体，如图 14-16 (c) 所示。
- (4) 单击【确定】按钮，完成实体转换。

## 4) 镜向草图

镜向草图工具可以方便地绘制对称的图形。当生成镜向实体时，SolidWorks 软件会在每一对相应的草图点（镜向直线的端点、圆弧的圆心等）之间应用一对称关系。如果更改被镜向的实体，则其镜向图像也会随之更改。镜向草图实体的操作步骤如下：

- (1) 在打开的草图中单击 CommandManager 草图上的镜向实体工具，或单击【草图】工具栏上的镜向实体工具，或单击【工具】→【草图工具】→【镜向】命令。
- (2) 在 PropertyManager 中，为要镜向的实体选择草图实体，为镜向点选择边线或直线。
- (3) 单击【确定】按钮，完成草图实体的镜向，如图 14-17 所示。

## 5) 线性阵列草图

线性阵列可以将草图实体沿两个方向进行多次等间距的复制。生成线性阵列草图的操作步骤如下：

- (1) 在打开的草图中单击 CommandManager 中的线性草图阵列工具，或单击【草图】工具栏上的线性草图阵列工具，或单击【工具】→【草图工具】→【线性阵列】命令。
- (2) 在 PropertyManager 中，在“要阵列的实体”下选择要阵列的草图实体。
- (3) 为“方向 1”设定值（X-轴），确定是否反向。
- (4) 设置草图实体之间的距离、要阵列的草图实体数量和阵列草图实体的角度。

- (5) 为“方向 2” 设定值 (Y-轴), 确定是否反向。
- (6) 设置草图实体之间的距离、要阵列的草图实体数量和阵列草图实体的角度。
- (7) 单击【确定】按钮, 完成草图实体的线性阵列, 如图 14-18 所示。

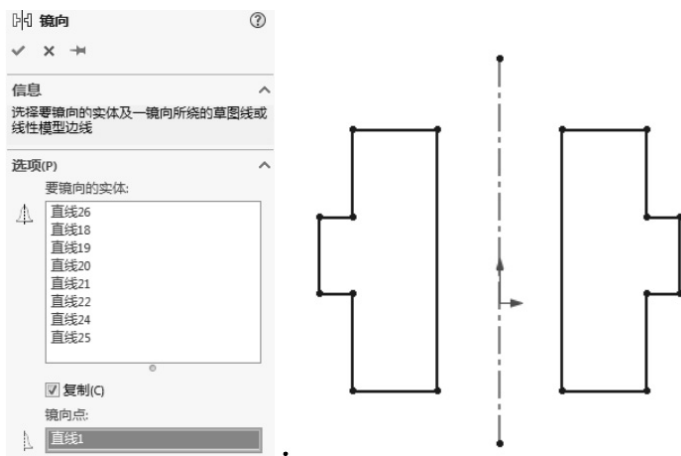


图 14-17 草图镜向

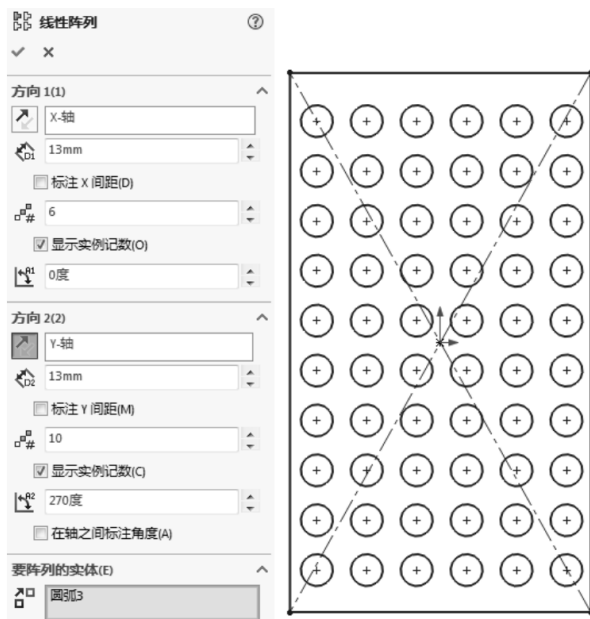


图 14-18 线性阵列草图

## 6) 圆周阵列草图

圆周阵列可以将草图实体围绕中心点按照相等的角度进行连续复制。生成圆周阵列草图的操作步骤如下:

- (1) 在打开的草图中, 单击 CommandManager 中的圆周草图阵列工具, 或单击【草图】工具栏上的圆周草图阵列工具, 或单击【工具】→【草图工具】→【圆周阵列】命令。
- (2) 在 PropertyManager 中, 在“要阵列的实体”下选择要阵列的草图实体。

- (3) 在“参数”下选择阵列中心，并确定是否反向。
- (4) 选中“等间距”选项并设置阵列草图实体的数量。
- (5) 单击【确定】按钮，完成草图实体的圆周阵列，如图 14-19 所示。

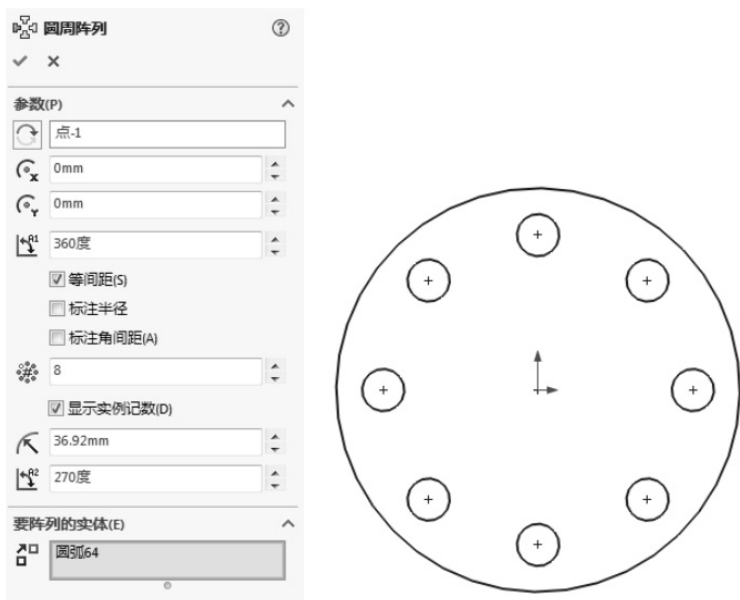


图 14-19 圆周阵列草图

#### 4. 尺寸与几何关系

在 SolidWorks 中绘制草图，初始不需要给定草图实体的确切尺寸和位置关系，而是通过尺寸与几何关系来修改草图的位置和大小，即以尺寸和几何关系来驱动草图。所谓驱动，也就是修改草图实体的尺寸或几何关系，草图实体将随之改变。

##### 1) 尺寸标注

【智能尺寸】命令通过所选择的草图实体之间的关系，将自动判断欲标注的尺寸类型，如距离、半径等；对某些类型的尺寸标注（点到点、角度、圆），放置尺寸的位置也会影响所添加的尺寸类型。在 SolidWorks 中，【智能尺寸】命令能满足大部分标注要求，图 14-20 所示为不同类型尺寸利用“智能尺寸”标注实例。使用“智能尺寸”标注尺寸，根据所选草图实体之间的位置关系，软件将自动判断标注的尺寸，如长度、半径、距离等；另外，放置尺寸的位置也会影响所添加的尺寸类型。

##### 2) 几何关系

几何关系是草图实体之间或者草图实体与参考对象之间的关系，如圆弧之间的同心关系、直线之间的平行关系等。当选定一个或者多个对象时，将弹出选定对象的属性管理器，其中的“现有几何关系”列表框显示了现有的几何关系，“添加几何关系”选项下列出了可供选用的几何关系。添加与删除几何关系操作相对较简单，这里不再赘述。表 14-1 列出了草图曲线产生的几何关系。

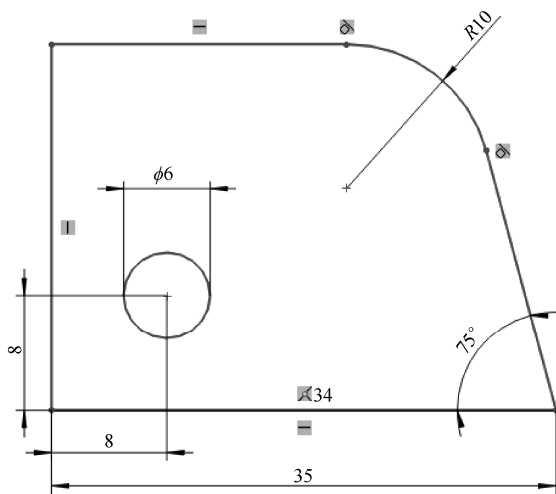


图 14-20 “智能尺寸”标注实例

表 14-1 草图曲线产生的几何关系

几何关系	要选择的草图	所产生的几何关系
水平或竖直	一条或多条直线，两个或多个点	直线会变成水平或竖直（由当前草图的空间定义）的，点会水平或竖直对齐
共线	两条或多条直线	项目位于同一条无限长的直线上
全等	两个或多个圆弧	项目会共用相同的圆心和半径
垂直	两条直线	两条直线相互垂直
平行	两条或多条直线，3D 草图中一条直线和一个基准面	项目相互平行，直线平行于所选基准面
与 YZ	3D 草图中一条直线和一个基准面（或平面）	直线相对于所选基准面与 YZ 基准面平行
与 ZX	3D 草图中一条直线和一个基准面（或平面）	直线相对于所选基准面与 ZX 基准面平行
沿 Z	3D 草图中一条直线和一个基准面（或平面）	直线与所选基准面的面正交
相切	一个圆弧、椭圆或样条曲线，以及一条直线或圆弧	两个项目保持相切
同轴心	两个或多个圆弧，或一个点和一个圆弧	圆弧共用同一圆心
中点	两条直线，或一个点和一条直线	点保持位于线段的中点
交叉	两条直线和一个点	点位于直线、圆弧或椭圆上
重合	一个点和一条直线、圆弧或椭圆	点位于直线、圆弧或椭圆上
相等	两条或多条直线，或两个或多个圆弧	直线长度或圆弧半径保持相等
对称	一条中心线和两个点、直线、圆弧或椭圆	项目保持与中心线相等距离，并位于一条与中心线垂直的直线上
固定	任何实体	草图曲线的大小和位置被固定。然而，固定直线的端点可以自由地沿其下无限长的直线移动

5. 综合实例

草图绘制实例如图 14-21 所示。草图由直线线段、中心线和圆角组成，绘制时一般先进行



直线和中心线绘制, 再进行圆角绘制, 绘制草图过程中需要标注尺寸和添加几何关系。草图实体绘制完成后应该保证所绘制的草图实体 (除了中心线或构造线) 为完全定义。

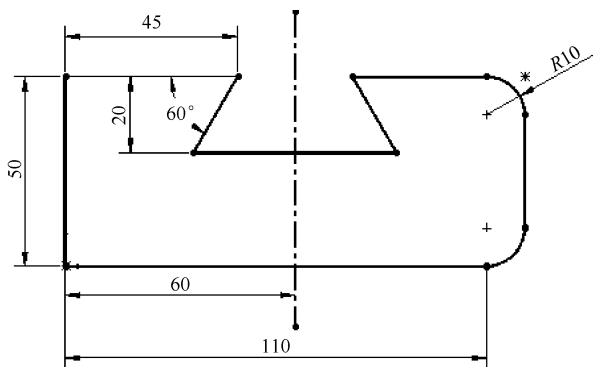


图 14-21 草图绘制实例

设计过程如下:

- (1) 启动 SolidWorks 后, 单击【新建】按钮。
- (2) 在弹出的【新建 SolidWorks 文件】对话框中选择【零件】复选框, 单击【确定】按钮。选取草图基准面, 单击设计树中的【前视基准面】。
- (3) 单击位于 CommandManager 下面的选项卡【草图】, 将出现草图工具栏, 选取草图实体绘制工具。
- (4) 绘制通过原点的一条水平直线和一条竖直线, 绘制一条中心线, 如图 14-22 (a) 所示。绘制一条水平线和一条直线, 如图 14-22 (b) 所示。
- (5) 标注线性尺寸和角度尺寸, 如图 14-22 (c) 所示。镜向草图, 如图 14-22 (d) 所示。
- (6) 把两端点用直线连接, 如图 14-22 (e) 所示。绘制圆角, 如图 14-22 (f) 所示。
- (7) 出现删除几何关系询问对话框, 如图 14-22 (g) 所示。删除几何关系后的草图 (欠定义) 如图 14-22 (h) 所示。
- (8) 标注尺寸 “110” 后草图完全定义, 如图 14-22 (i) 所示。草图改变尺寸标注样式, 如图 14-22 (j) 所示。

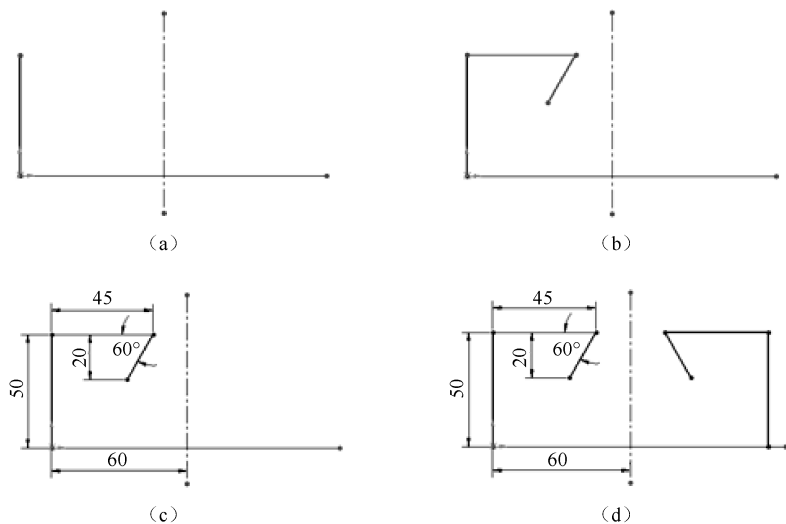


图 14-22 草图绘制实例设计过程

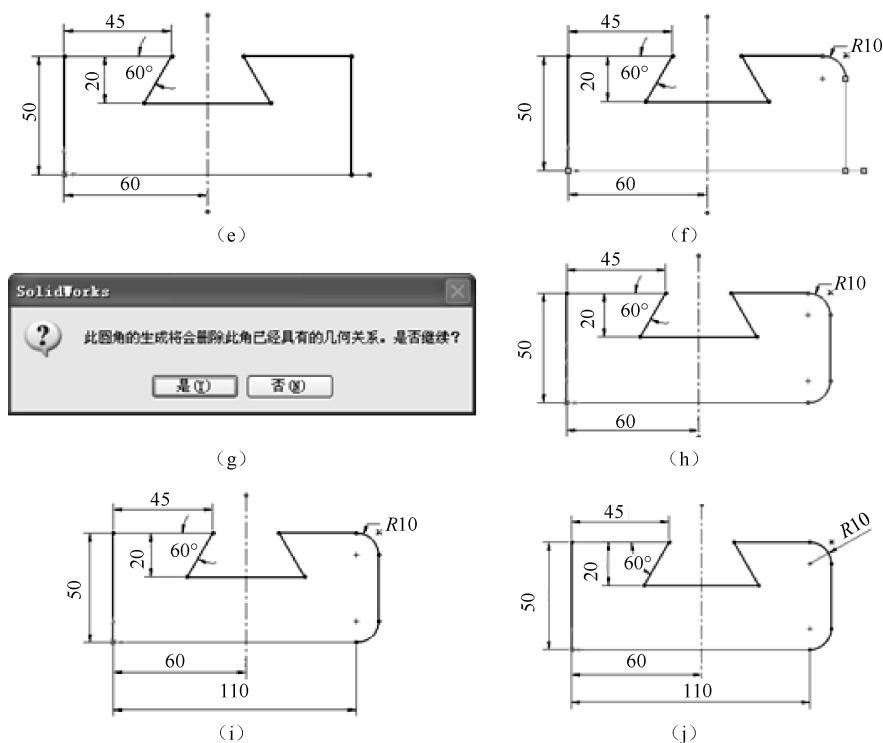


图 14-22 草图绘制实例设计过程 (续)

## 14.3 参考几何体

SolidWorks 中,除了系统默认的三个基准面、坐标系外,用户还可以创建自定义的参考基准,包括基准面、基准轴、基准点、参考坐标系,本节将介绍最常用的两种参考基准面和基准轴。

### 14.3.1 参考基准面

SolidWorks 的草图都是在平面上绘制的,如果系统默认的三个基准面和三维实体上都无合适的草图绘制平面,用户就需要定义自己的参考基准面。创建参考基准面的方法如下:

(1) 单击参考几何体工具栏上的基准面工具或单击【插入】→【参考几何体】→【基准面】命令,就会弹出创建基准面对话框,如图 14-23 所示。

(2) 在对话框中选择所需类型及项目来生成基准面。定义一个平面常用的方式:①等距:生成平行于一个基准面或实体面,并等距指定距离的基准面;②三点:通过不共线三点的基准面;③两直线:两平行直线定义一个基准面;④相切面和切点:指定与平面相切的一个曲面及两面的切点,确定该基准面。

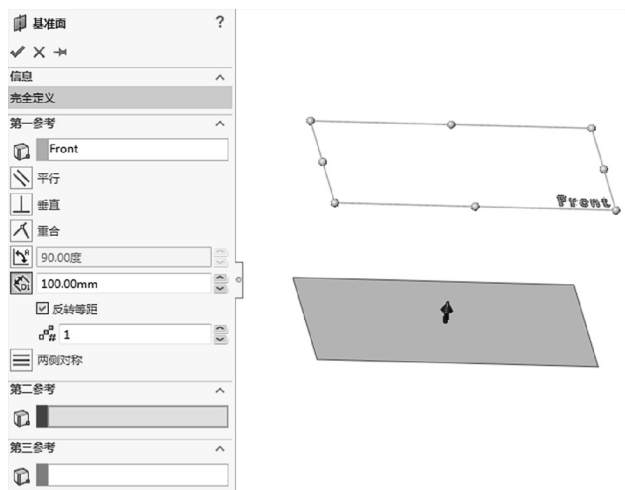


图 14-23 参考基准面

### 14.3.2 基准轴

“基准轴”特征可以生成一条参考轴线，可以在生成草图几何体时或在圆周阵列中使用基准轴。基准轴与临时轴的作用相似，每一个圆柱和圆锥面都有一条轴线，临时轴是由模型中的圆锥和圆柱隐含生成的。当临时轴不能满足建模需求时，就需要建立基准轴。基准轴的创建方法为：选择【插入】→【参考几何体】→【基准轴】菜单命令，打开【基准轴】特征属性管理器，选择参考对象，系统根据对象类型自动选择一种定义方式，完成基准轴的创建，如图 14-24 所示。

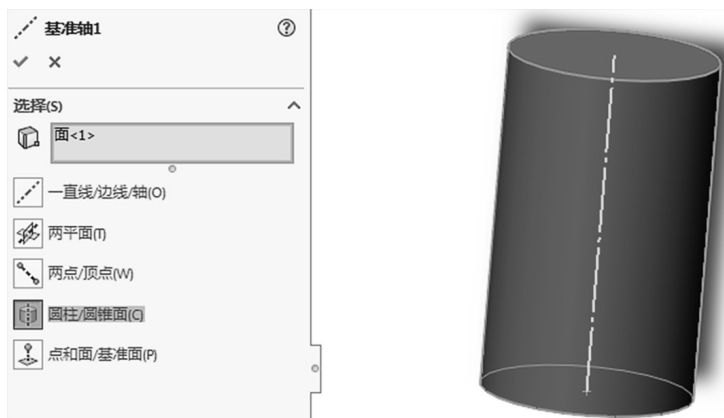


图 14-24 基准轴的创建

## 14.4 创建基本特征

所谓特征就是生成一些基本模型元素的操作，如生成球体、圆柱、长方体等，将这些基本

模型元素进行布尔运算，就可以得到各种复杂的模型。本节将重点介绍基本特征命令的使用，使读者对特征命令的使用和 SolidWorks 建模过程有比较深刻的了解。

新建了一个空白的零件文件后，零件的第一个特征必然是要生成一个实体，有了基本的实体后就可以在这个实体上添加或删除材料，以生成相对复杂的模型。

在 SolidWorks 中建立特征一般遵循如下的步骤：

- (1) 选择绘制草图平面。
- (2) 在基准面上绘制草图。
- (3) 应用特征命令。

上述步骤概括为“先选面，后绘图，再应用特征”。绘制草图平面可以是零件中的三个默认基准面、模型上的平面或参考基准面。根据模型的结构和应用的命令特征，草图可以是开环、闭环、自相交叉或非自相交叉的。有些特征是在草图的基础上进行操作的，如拉伸凸台特征和拉伸切除特征。

## 14.4.1 拉伸

### 1. 拉伸凸台/基体

“拉伸凸台/基体”特征的建模过程可以理解为，一个草图沿着给定方向移动一段距离，草图所扫略过的空间即为所要生成的基本模型元素。拉伸的方式有多种，可以是单向拉伸、双向拉伸、两侧对称拉伸等。下面介绍【拉伸凸台/基体】特征命令。

拉伸凸台/基体的成型原理是草图沿垂直于草图平面的方向移动所形成的实体，其成型要素为：

- (1) 草图：开环或者闭环。草图开环是指轮廓不闭合。如果草图存在自相交叉或者出现分离轮廓，那么在拉伸时需要对轮廓进行选择。多个分离的草图同时拉伸将会形成多个实体。
- (2) 拉伸方向：设置特征延伸的方向，有正反两个方向。
- (3) 终止条件：设置特征延伸末端的位置。
- (4) 拔模开/关：拔模是指为实体添加斜度。
- (5) 薄壁条件：选择此项拉伸时，可以得到薄壁体。用于设置拉伸的壁厚，有正反两个方向。

如图 14-25 所示为拉伸凸台基体的设备管理器和成型实例。

### 2. 拉伸切除

“拉伸切除”特征的使用与“拉伸凸台/基体”特征的使用相似，其建模过程可以理解为，一个草图沿着给定方向移动一段距离，在现有的实体模型中减去该草图所扫略过的空间即为所要生成的模型结构。“拉伸切除”特征同“拉伸凸台/基体”特征一样，其使用方法很灵活，选择不同的起始与终止条件，可以生成各种不同的模型效果。好的使用方法可以给设计带来很大的便利，也更有利于体现设计的意图和后期对模型的修改。如图 14-26 所示为拉伸切除的设备管理器和成型实例。

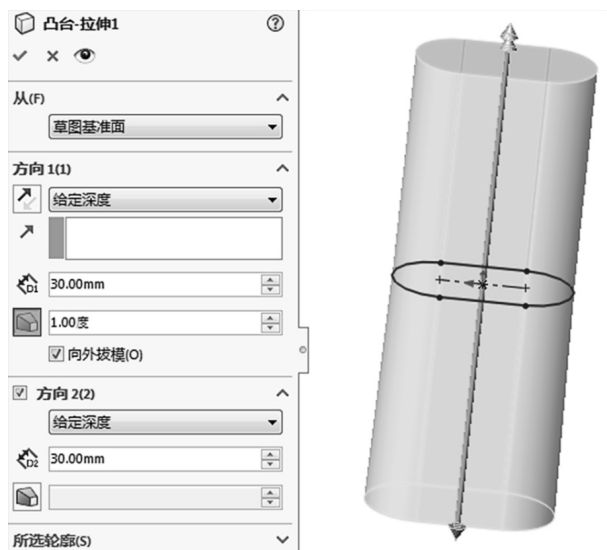


图 14-25 拉伸凸台基体

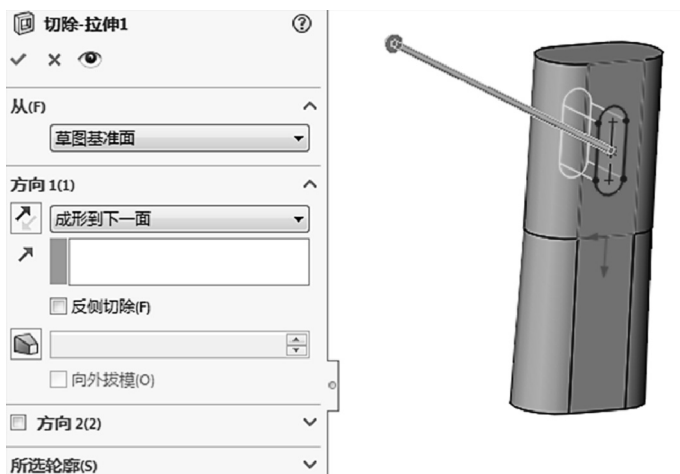


图 14-26 拉伸切除

## 14.4.2 旋转

### 1. 旋转凸台/基体

“旋转凸台/基体”特征一般用于旋转体的建模，建模过程可以理解为，一个草图绕一条直线旋转一定的角度，草图所扫略过的空间即为所要生成的基本模型元素。根据草图与旋转轴位置的不同，可以生成不同的实体模型。“旋转凸台/基体”特征的成型要素为：

- (1) 草图：允许开环或者闭环。草图开环时可以形成旋转薄壁特征。
- (2) 旋转轴：可以是草图中的一条直线，也可以是独立于草图之外的一条中心线。
- (3) 草图和旋转轴位置要求：二者不允许交叉，这是旋转特征成功运用最基本的原则。

如图 14-27 所示为旋转凸台/基体的设备管理器和成型实例。

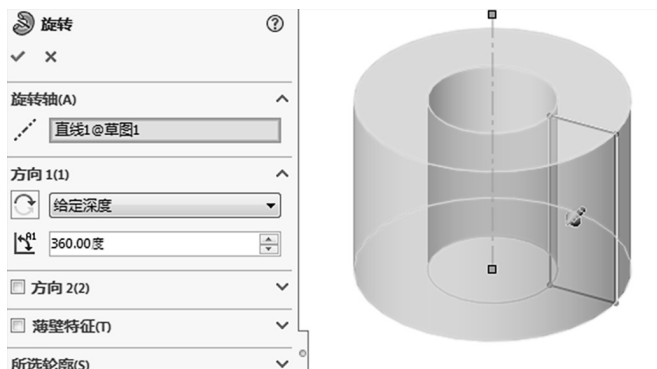


图 14-27 旋转凸台/基体

## 2. 旋转切除

“旋转切除”特征的使用与“旋转凸台/基体”特征的使用相似，需要先绘制用于旋转切除的草图轮廓和中心线，通过绕中心线旋转一个或多个轮廓来移除材料。如图 14-28 所示为旋转切除的设备管理器和成型实例。

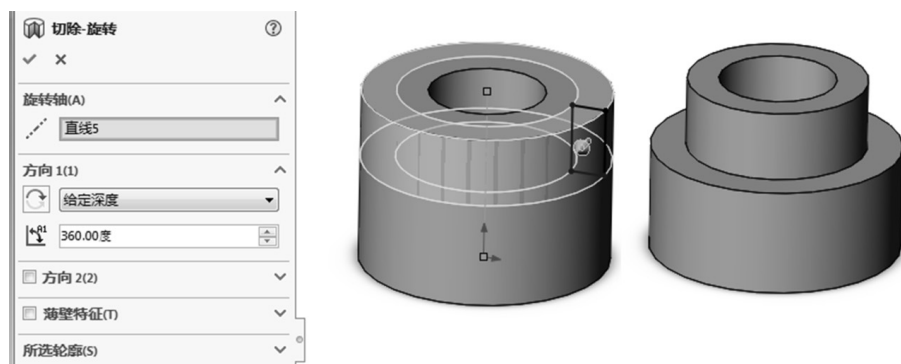


图 14-28 旋转切除

### 14.4.3 扫描

#### 1. 扫描（凸台）

“扫描（凸台）”特征通过沿着一条路径移动轮廓（截面）来生成基体，建模过程可以理解为，将一块木板穿在钢丝上，从钢丝一端滑至另一端，木板扫略过的空间即为所要生成的基本模型元素。“扫描（凸台）”特征比较复杂，至少需要两个草图，并且草图平面不能平行（包括重合）。应用过程中应遵循以下规则：

- (1) 对于基体或凸台，扫描特征轮廓必须是闭环的。
- (2) 路径可以为开环或闭环的，可以是一张草图、一条曲线或一组模型边线中包含的一组草图曲线。
- (3) 路径的起点必须位于轮廓的基准面上。
- (4) 不论是截面、路径还是所形成的实体，都不能出现自相交叉的情况。

(5) 引导线必须与轮廓或轮廓草图中的点重合。

应用扫描特征时, 需要退出所有草图状态。而拉伸、旋转特征允许在草图状态下直接应用特征。如图 14-29 所示为扫描凸台实体的设备管理器和成型实例。



图 14-29 扫描凸台实体

## 2. 扫描 (切除)

“扫描 (切除)” 特征用于在现有模型上减去材料来生成模型, 需要至少两个草图, 即轮廓草图和路径草图。“扫描 (切除)” 特征的使用与 “扫描 (凸台)” 特征的使用相似, 成型方式也一样, 这里不再赘述。

### 14.4.4 放样

放样通过在轮廓之间进行过渡生成特征。可以使用两个或多个轮廓生成放样, 对于多个轮廓生成放样, 仅第一个或最后一个轮廓可以是点, 也可以这两个轮廓均为点。一般要求轮廓闭合且分别位于不同的平面上, 如果两个轮廓在放样时的对应点不同, 产生的放样效果也不同。用户可以在放样过程中选择放样的对应点。如图 14-30 所示为放样实体的设备管理器和成型实例。

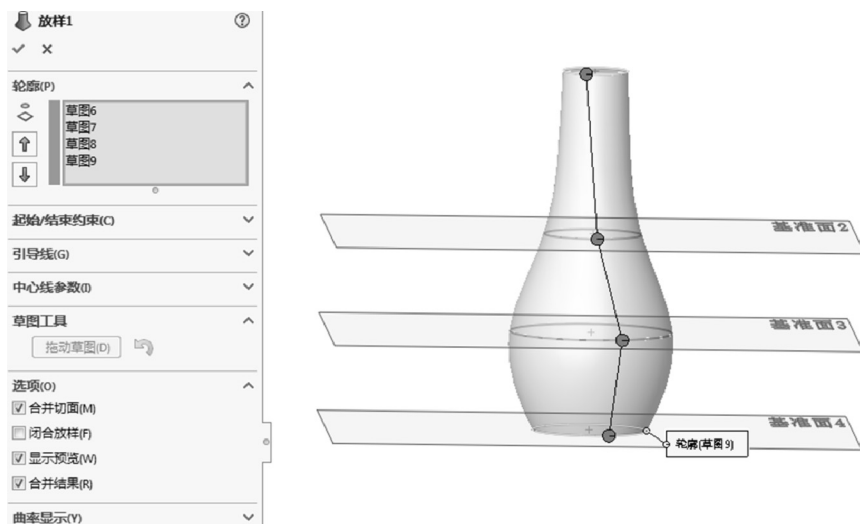


图 14-30 放样实体

## 14.5 编辑基本特征

一个完整的零件不只是基体与凸台的组合，还包括许多细节特征，如圆角、倒角、孔、筋等，这些特征的创建必须基于已有基体。同时，为了快速创建相同的特征，还需要使用特征镜向和特征阵列工具。

### 14.5.1 圆角与倒角

#### 1. 圆角特征

圆角特征用于在现有模型上生成内圆角或外圆角。使用圆角特征时需要为该特征选择边线或面，对于选择的面，将在该面的边线上生成圆角。圆角特征不需要草图，直接在现有的模型边线或面上进行操作。创建圆角特征的方法是：

(1) 单击【特征】面板上的【圆角】按钮或选择【插入】→【特征】→【圆角】菜单命令，打开【圆角】属性管理器。

(2) 在【圆角】属性管理器中设置类型和参数，并在现有模型上选择项目（线或面），确认后即完成圆角特征的创建，如图 14-31 所示。

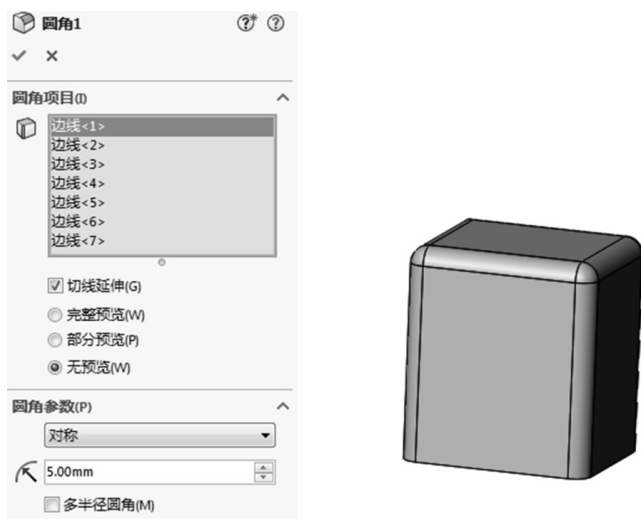


图 14-31 圆角特征

#### 2. 倒角特征

倒角特征用于在现有模型上生成内倒角或外倒角。使用倒角特征时需要为该特征选择边线或面，对于选择的面，将在该面的边线上生成倒角。倒角特征不需要草图，直接在现有的模型边线或面上进行操作。创建倒角特征的方法是：

(1) 单击【特征】面板上的【倒角】按钮或选择【插入】→【特征】→【倒角】菜单命令，



打开【倒角】属性管理器。

(2) 在【倒角】属性管理器中设置类型和参数，并在现有模型上选择项目（线或面），确认后即可完成倒角特征的创建，如图 14-32 所示。

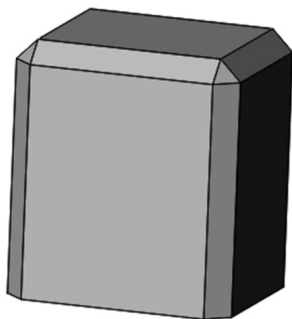


图 14-32 倒角特征

## 14.5.2 孔特征

在工程实际中，零件上一般有各种样式、各种规格的孔。孔的作用有定位、支撑、装配等。SolidWorks 中孔特征有简单直孔和异形孔两种。简单直孔的效果等同于拉伸切除，不同的是建孔前必须选定零件上的一个平面，不能在曲面上生成孔特征，其创建过程较为简单。这里仅介绍应用最多的异形孔向导。

异形孔向导用于在现有模型面上生成各种类型的孔，孔的类型和位置可以在属性管理器中定义。当使用异形孔向导生成孔时，孔的类型和大小出现在【特征设计树】中。孔的位置可以用现有草图实体进行定位，也可以通过添加尺寸和几何关系来约束。创建异形孔向导的方法为：

(1) 单击【特征】面板上的【异形孔向导】按钮或选择【插入】→【特征】→【孔】→【向导】菜单命令，打开【孔规格】属性管理器。

(2) 先在【类型】选项卡中设置孔的类型和规格，然后转到【位置】选项卡，根据提示选择孔的放置平面，利用【智能尺寸】为孔定位，确认后即可生成孔特征，如图 14-33 所示。

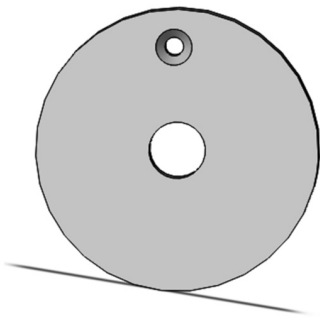


图 14-33 异形孔特征

### 14.5.3 筋特征

筋特征用于生成模型上的一些加强筋或支撑板结构。筋是从开环或闭环绘制的轮廓所生成的特殊类型拉伸特征，在轮廓与现有零件之间添加指定方向和厚度的材料，可使用单一或多个草图生成筋。创建筋特征的方法为：

(1) 创建绘制草图的参考基准面，在基准面上绘制生成筋特征的草图。

(2) 选择上步中绘制的草图，单击【特征】工具栏中的【筋】按钮，或选择【插入】→【特征】→【筋】菜单命令，打开【筋】特征属性管理器，输入筋的各项参数，确认后即可生成筋特征，如图 14-34 所示。

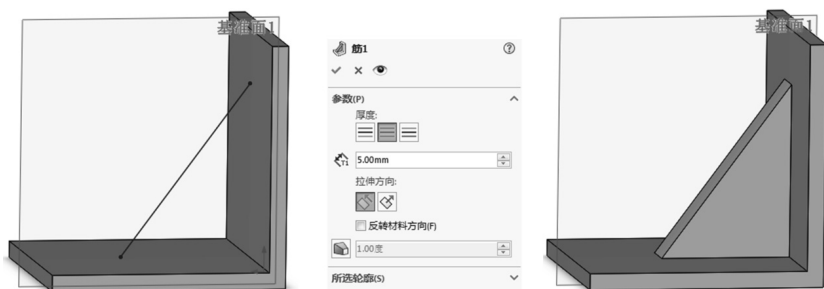


图 14-34 筋特征

### 14.5.4 镜向特征

与草图镜向的作用类似，特征镜向是将零件对称面一侧的实体镜向到另一侧，以提高建模速度。不同于草图镜向的是，草图镜向选择的是镜向轴，而特征镜向选择的是一个镜向平面，镜向平面可以是基准面也可以是实体平面。创建镜向特征的方法是：

(1) 创建镜向基准面（如果在零件上选择对称的镜向平面，则此步不需要）。

(2) 单击【特征】工具栏中的【镜向】按钮或者选择【插入】→【阵列/镜向】→【镜向】菜单命令，弹出【镜向】属性管理器。

(3) 选择镜向面/基准面和要镜向的特征/面/实体，确认后即可完成镜向特征的创建，如图 14-35 所示。

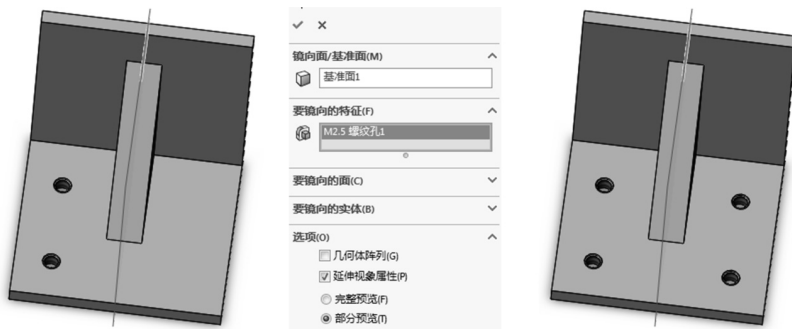


图 14-35 镜向特征

## 14.5.5 阵列特征

阵列特征是将实体特征按照一定的排列规则在空间中生成多个相同的特征。SolidWorks 中常用的阵列特征有线性阵列特征和圆周阵列特征。

### 1. 线性阵列特征

线性阵列特征可以实现在一个（或者两个）方向阵列已有特征。使用该特征，需要指定阵列方向、线性阵列间距、实例总数和欲复制的特征，复制的特征之间的距离相等。线性阵列特征的方法是：

(1) 单击【特征】工具栏中的【线性阵列】按钮或者选择【插入】→【阵列/镜向】→【线性阵列】菜单命令，弹出【线性阵列】属性管理器。

(2) 为【方向 1】选择一条直线作为阵列方向，并设置阵列特征的间距和数量。

(3) 用同样的方法设置【方向 2】参数。

(4) 选择要阵列的特征，确认后即完成线性阵列特征的创建，如图 14-36 所示。

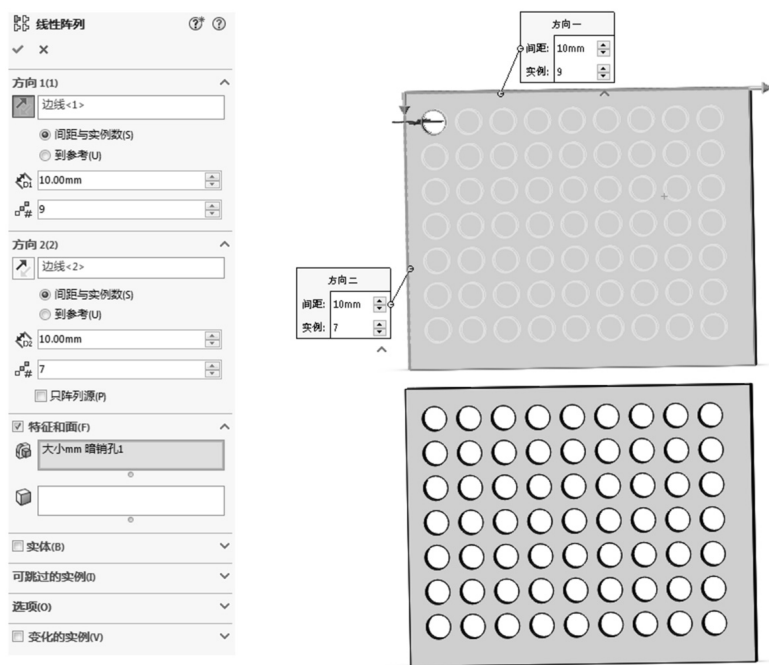


图 14-36 线性阵列特征

### 2. 圆周阵列特征

圆周阵列特征用于在一个圆周上复制已有特征。需要为圆周阵列选择阵列轴和阵列特征间的角度。圆周阵列特征的方法是：

(1) 选择【视图】→【临时轴】菜单命令，创建临时轴作为圆周阵列轴。

(2) 单击【特征】工具栏中的【圆周阵列】按钮或者选择【插入】→【阵列/镜向】→【圆

周阵列】菜单命令，弹出【圆周阵列】属性管理器。

(3) 设置阵列参数：选择所需的临时轴作为圆周阵列轴，设定要阵列的特征数量。

(4) 选择要阵列的特征，确认后即完成圆周阵列特征的创建，如图 14-37 所示。

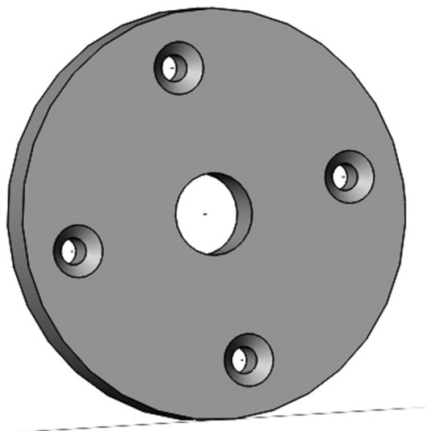


图 14-37 圆周阵列特征

## 14.6 装配体设计

前面几节介绍了零件的各种设计方法，用以生成各种各样的零件模型，但是一般来说，单纯的零件没有实际意义。对于结构设计而言，一个运动机构、一台装置或设备才有意义。将已经完成的各个独立的零件，根据预先的设计要求装配成为一个完整的装配体，并在此基础上对其进行运动测试，检查是否实现设计功能，才是设计的最终目的，也是 SolidWorks 的要点之一。

装配体是由零件或子装配体所组成的，在 SolidWorks 中装配体的文档扩展名为 .sldasm。装配体文件有别于零件文件，在零件文件中通过使用各种特征命令来进行零件建模，一个零件可以看成是由一系列特征组合生成的；在装配体文件中，通常不进行零件建模，而是将已有零件直接插入到当前装配体中，将这些零件通过配合关系进行组合。

### 14.6.1 装配体的基本操作

#### 1. 创建装配体文件

创建一个 SolidWorks 装配体文件，单击标准工具栏中的【新建】按钮（或者单击菜单栏中的【文件】→【新建...】命令），弹出【新建 SolidWorks 文件】对话框，选择“装配体”文件，单击【确定】按钮，建立一个装配体文件，进入装配体操作环境，如图 14-38 所示。

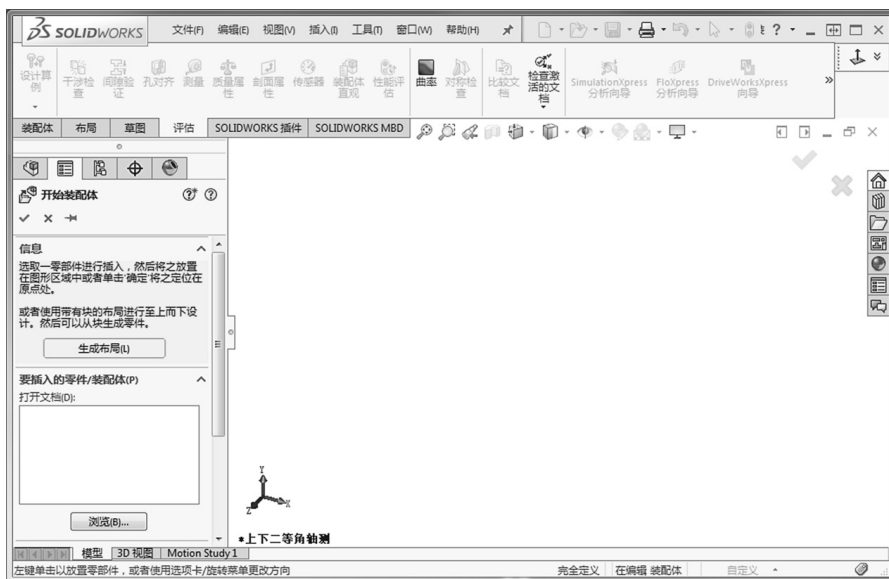


图 14-38 装配体操作环境

## 2. 插入零部件

将一个零部件（单个零件或子装配体）插入装配体中后，这个零部件文件会与装配体文件链接。零部件出现在装配体中；零部件的数据还保存在源零部件文件中。对零部件文件所进行的任何改变都会更新装配体。常用的插入零部件的方法是：

单击【装配体】工具栏中的【插入零部件】按钮或者选择【插入】→【零部件】→【现有零件/装配体】菜单命令，弹出【插入零部件】属性管理器。

单击【浏览】按钮，浏览存储零部件或子装配体的文件夹，选择需要插入的零部件，单击【打开】按钮，在 SolidWorks 绘图区单击鼠标，即可插入零部件，如图 14-39 所示。



图 14-39 插入零部件

### 3. 零部件的缩放、旋转与复制

在 SolidWorks 装配体中, 可以通过“移动零部件”和“旋转零部件”命令来拖动或旋转零部件, 调整各零部件之间的相对位置关系, 以方便添加配合关系, 或者选择零件实体等。这里介绍一下零部件缩放、旋转与复制的快捷方法。

缩放零部件: 通过滚动鼠标滚轮可实现零部件的缩放, 向上滚动为缩小零部件, 向下滚动为放大零部件。

旋转零部件: 按住鼠标滚轮移动鼠标可实现装配体中所有零部件的旋转, 按住鼠标右键移动鼠标可以实现装配体中单个浮动零部件的旋转。

复制零部件: 按住【Ctrl】键, 同时选中要复制的零部件并移动鼠标, 可实现零部件的复制。

## 14.6.2 装配体的配合方式

一个机构只有添加了约束, 使其自由度与原动件的个数相等, 才能具有确定的运动规律。在 SolidWorks 中, 通过使用配合关系来限制零件的某些自由度, 这些配合关系可以添加在零件与装配体中的参考基准面之间, 也可以在零件之间添加配合关系, 使得虚拟的模型能够模拟实际机构的运动状态。

一个零件插入到装配体文件当中, 该零件在模型空间具有 6 个自由度, 即沿坐标系 3 个坐标轴的移动和旋转。配合关系是用来限制零件的自由度的, 使得零件只在其运动方向上具有自由度。

单击【装配体】面板上的【配合】按钮, 系统弹出【配合】对话框, 在对话框中有三种不同的配合方式, 这里仅介绍常用的【标准配合】, 如图 14-40 所示。



图 14-40 【配合】对话框与【标准配合】

【标准配合】共有 8 种配合关系, 下面分别介绍。

重合: 选择两个零部件的顶点、边线、面或基准面, 使得所选对象重合。

平行：选择两个零部件的面或基准面，或选择一条直边线和一个面，使所选对象平行。

垂直：选择两个零部件的面或基准面，使所选两面垂直。

相切：选择两个零部件以相切方式配合（至少有一个选项为圆柱面、圆锥面或球面）。

同轴心：使选择的两个零部件同轴，只有两个圆柱面才能实现同轴配合。

锁定：保证两个零部件之间的相对位置和方向固定，应用【锁定】后，移动或旋转一个零部件，与之配合的部件也随之移动或旋转。

距离：应用【平行】配合时，可以设置两平行对象之间的距离。

角度：当配合对象为两直线或两平面时，使用【角度】可使所选对象呈指定角度放置。

需要指出的是，如果当前配合方向不符合要求，可使用【配合对齐】按钮改变配合方向。

### 14.6.3 干涉检查

在实际机器或机构里，两个零件之间接触或发生碰撞时，如果继续给这两个零件施加力的作用，使这两个零件相互挤压，则结果是这两个零件的接触部分将发生变形，但这两个零件的实体部分不会发生重叠或交叠的现象。

在 SolidWorks 中设计的装配体，如果零件的尺寸不合理，将使得零件模型之间相互交叠，或者零件在允许自由度内的运动过程中与其他零件发生交叠，这种现象称为零件之间产生了干涉。干涉的零件加工成型后，将不能进行装配或实现所设计的运动规律。

在 SolidWorks 中可以使用“干涉检查”命令来检查装配体中是否存在零件干涉情况。利用装配体的干涉检查，可以在装配体中检查指定零件间或整个装配体的所有零件间存在的干涉情况。

在装配体文件中，单击【评估】面板上的【干涉检查】按钮，弹出【干涉检查】对话框，单击【计算】按钮，即可检查出装配体中出现的干涉情况，如图 14-41 所示。

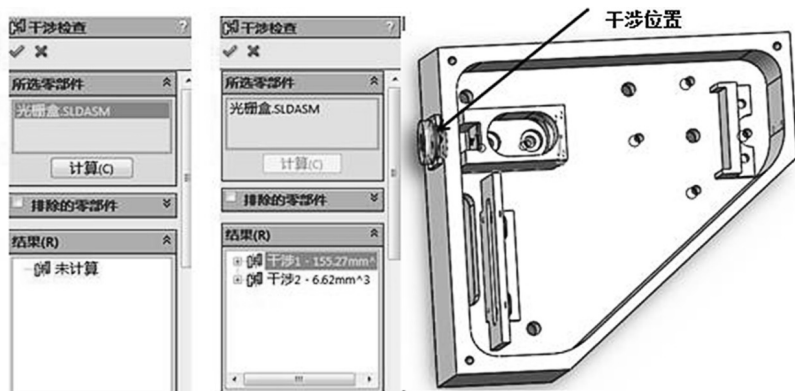


图 14-41 干涉检查

## 14.7 工程图设计

在 SolidWorks 中，工程图文件用于将三维的零件或装配体转换为二维平面图，并通过添加相应的视图、标注等，使得二维图纸能很好地表达三维模型的信息。工程图中可以包含一个或

多个由零件/装配体生成的视图，在生成工程图之前，必须先保存与工程图有关的零件或装配体。工程图文件的扩展名为.slddrw。

## 14.7.1 工程图的基本操作

### 1. 工程图文档选项设置

选择【工具】→【选项】菜单命令，弹出【系统选项】对话框。在该对话框【系统选项】标签下，选择【工程图】选项，设置视图的各种显示和更新选项；在【显示类型】选项下，设置工程图视图显示模式和相切边线显示；在【区域剖面线/填充】选项下，设置区域剖面线的剖面线样式或实体填充、阵列、比例及角度。在【系统选项】标签上的设定会应用到所有文档。

如果当前已经打开了一个工程图文档，那么该对话框中还包含了一个【文档属性】标签，激活该标签，在该标签下设置相应的选项。在该标签下的设定仅应用到当前文档中。

读者一般按照默认的设置来使用 SolidWorks 工程图，通常自定义这些选项是为了使工程图符合某一标准或打印机及绘图机的要求。

### 2. 生成工程图

在 SolidWorks 中提供了两种生成工程图的方法，可以通过【新建】命令创建一个空白的工程图，也可以从打开的零件或装配体直接生成工程图。需要注意的是，零件或装配体在生成其关联工程图之前必须进行保存。

## 14.7.2 工程视图

为了准确、清晰地表达模型的结构和尺寸，在绘制工程图时，需要综合使用多种模型视图来绘制零件的工程图。SolidWorks 提供了多种类型的工程视图，供用户选择使用，以更好地利用二维图形来表达零件/装配体的结构，本节将分别介绍这些工程视图的使用方法。

### 1. 模型视图

新建立的工程图文件通常是一个包含图纸格式的空白图纸，需要使用【模型视图】命令将现有零件/装配体的模型添加到工程图文件中，从而在该工程图文件中生成该零件/装配体模型的第一个视图，以该视图为父视图，再生成其他类型的视图。

单击【视图布局】面板上的【模型视图】按钮，或选择【插入】→【工程视图】→【模型】命令，弹出【模型视图】对话框，浏览并打开一个零件文件后，选择【模型视图】对话框中的方向配置，在绘图区单击鼠标，将生成第一个视图，即父视图，如图 14-42 所示。

### 2. 投影视图

投影视图是正交视图，它参考一现有视图，沿正交方向生成该父视图的投影视图。在 SolidWorks 中提供了多种命令或者工具来生成投影视图，如在插入“模型视图”（工程视图）后，按照默认的设置将自动激活投影视图属性管理器；也可以使用【投影视图】命令来生成投影视图。



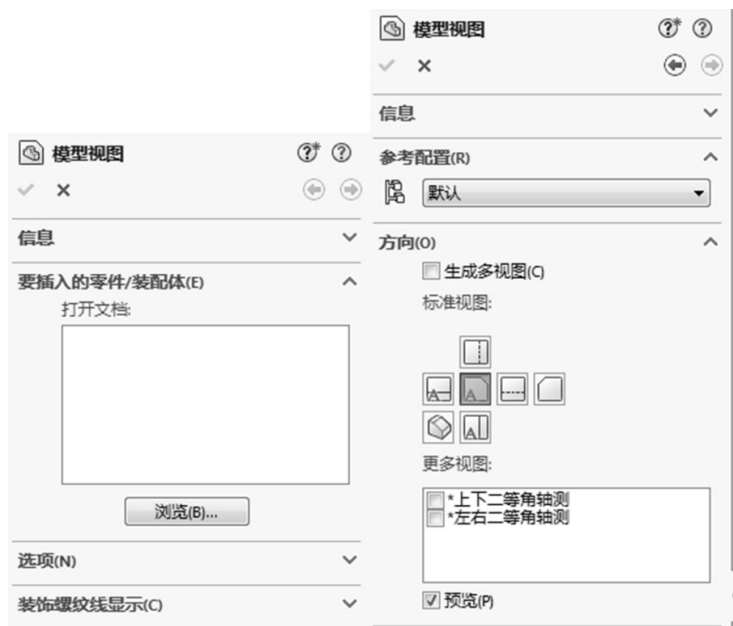


图 14-42 模型视图

单击【视图布局】面板上的【投影视图】按钮，或选择【插入】→【工程视图】→【投影视图】命令，弹出投影提示信息，然后在绘图区移动鼠标并确认，即可生成投影视图，如图 14-43（a）所示。

### 3. 剖面视图

通过使用【剖面视图】命令生成剖面视图。用户需要绘制一条直线段或折线段来作为生成剖面视图的剖切线，新建的剖面视图自动与其父视图对齐，是由原实体模型计算得来的，如果模型更改，此视图将随之更新。

单击【视图布局】面板上的【剖面视图】按钮，或选择【插入】→【工程视图】→【剖面视图】命令，弹出【剖面视图】对话框，同时图纸上出现可移动的切割线预览；然后选择剖切线样式，在绘图区移动鼠标并选择剖切位置和方向，单击确认并移动鼠标到绘图区合适位置，再单击鼠标即可生成剖面视图，如图 14-43（b）所示。

### 4. 局部视图

局部视图用来显示某一工程视图的一部分（通常是放大显示）。在 SolidWorks 中，通过【局部视图】命令来生成局部视图，用户需要在视图使用草图几何体包围所需放大的部分，通常使用圆或其他封闭的轮廓。如果用户没有预选封闭的草图区域，系统将自动激活“圆”绘制工具来绘制圆。

单击【视图布局】面板上的【局部视图】按钮，或选择【插入】→【工程视图】→【局部视图】命令，弹出【局部视图】对话框，系统自动激活“圆”绘制命令，选择某一视图需要局部放大的位置绘制圆形包围圈，然后在绘图区合适位置单击鼠标，即可生成局部视图，如图 14-43（c）所示。

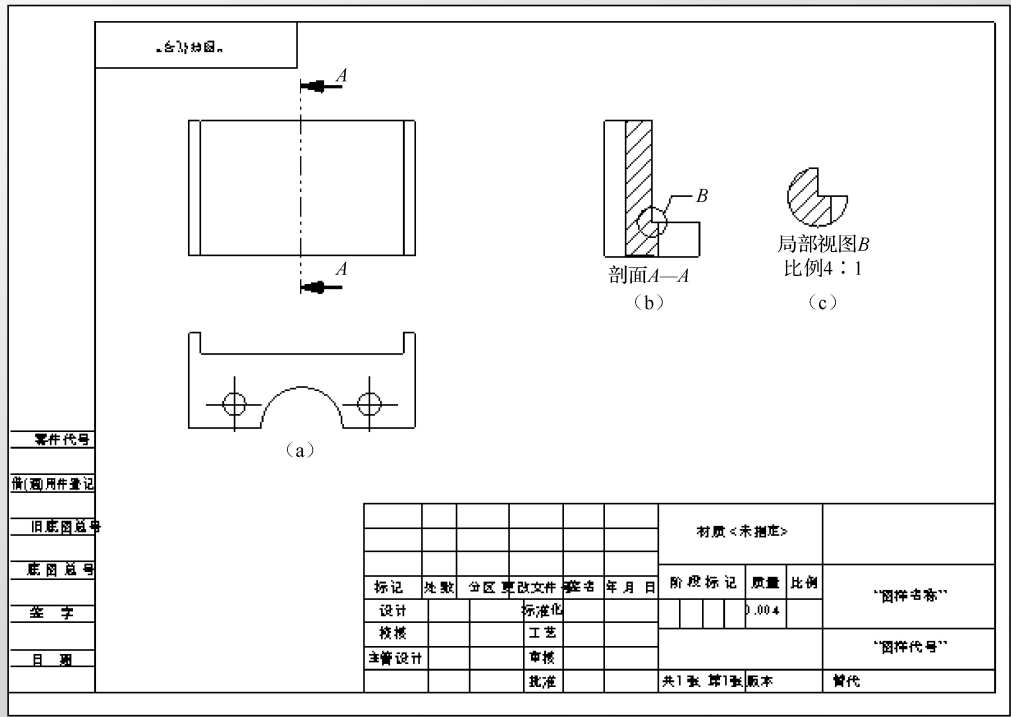


图 14-43 工程视图

14.7.3 工程图的尺寸标注与注解

1. 尺寸标注

在视图中通过尺寸来描述零件或装配体的大小，工程图中的尺寸标注是与模型相关联的，而且模型中的变更会反映到工程图中。可以将零件建模过程中的尺寸直接添加到工程图中，也可以通过手动方式添加尺寸来标注工程图。

单击【尺寸/几何关系】工具栏中的【尺寸】按钮，弹出【尺寸】对话框。对话框中可以选择智能尺寸、DimXper 和自动标注尺寸。这里常使用【智能尺寸】来标注零件尺寸，智能尺寸与草图中的智能尺寸标注方式相同，这里不再介绍。

2. 注解

一张完成的工程图，除了必要的工程视图、模型尺寸外，还需要标注零件的表面粗糙度、技术说明等。在 SolidWorks 工程图中，通过注解来添加图纸里的文字说明、粗糙度符号、剖面线等。

1) 文字注释

文字注释是在工程图中添加文字信息和一些特殊要求的标注，注释文字可以独立浮动，也可以指向某个对象。单击【注解】面板上的【注释】按钮，或选择【插入】→【注解】→【注释】命令，弹出【注释】对话框。在对话框中选择所需要的文字格式和引线格式，即可在绘图区合适位置标注文字注释。

## 2) 形位公差

形位公差定义及其各种形位公差符号在工程图中的作用和意义已在第 5 章中介绍过, 这里不再赘述, 仅介绍形位公差的标注方法。单击【注解】面板上的【形位公差】按钮, 或选择【插入】→【注解】→【形位公差】命令, 弹出【形位公差】对话框。在该对话框中填写公差符号、公差值、参考基准等信息, 然后在绘图区相应视图位置上即可标注对应形位公差。

## 3) 表面粗糙度

表面粗糙度的参数代号及数值的意义和用法已在第 5 章中介绍过, 这里仅介绍表面粗糙度的标注方法。单击【注解】面板上的【表面粗糙度】按钮, 或选择【插入】→【注解】→【表面粗糙度符号】命令, 弹出【表面粗糙度】对话框。在该对话框中设置需要的表面粗糙度符号和数值, 然后在绘图区相应视图的相应位置单击鼠标, 即完成表面粗糙度的标注。

图 14-44 所示为零件工程图标注实例。

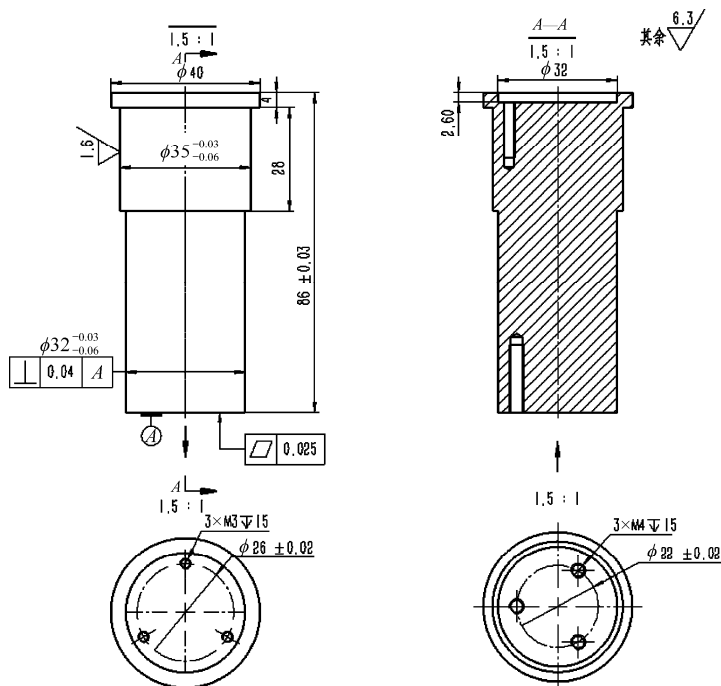


图 14-44 零件工程图标注实例

## 14.7.4 装配体明细表

工程图中,【明细表】命令用于添加装配体图纸的明细栏, 本节将介绍在工程图中生成明细栏的方法。

### 1. 标注零件序号

零件序号是工程图中各零件的编号, 使之与明细表中的项目相对应。SolidWorks 中有两种添加零件序号的方法: 一是手动标注零件序号, 二是自动标注零件序号。

### 1) 手动标注零件序号

单击【注解】面板上的【零件序号】按钮，或选择【插入】→【注解】→【零件序号】命令，弹出【零件序号】对话框。在该对话框中设定零件序号的显示样式，然后在绘图区装配体各个视图上标出各个零部件的序号。

### 2) 自动标注零件序号

自动标注零件序号是在所选视图上自动生成全部零件序号的方法，当选择装配体的多个视图时，系统将自动在各个视图上分配零件序号。首先选择要生成零件序号的装配体视图，然后单击【注解】面板上的【自动零件序号】按钮，或选择【插入】→【注解】→【自动零件序号】命令，弹出【自动零件序号】对话框。在该对话框中设定零件序号的显示样式，单击【确认】按钮即可自动在所选视图上生成各个零件序号。

如图 14-45 所示为手动标注零件序号时的对话框和自动标注零件序号时的对话框，以及零件序号标注实例。

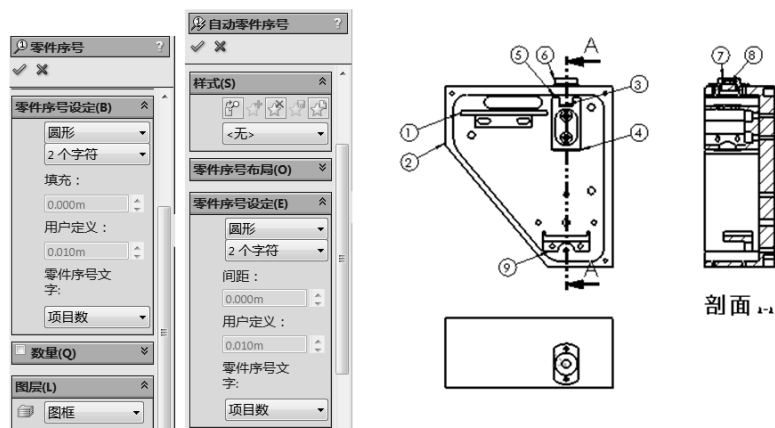


图 14-45 零件序号标注实例

## 2. 生成明细表

单击【注解】面板上的【表格】|【材料明细表】按钮，或选择【插入】→【表格】→【材料明细表】命令，按照提示选择装配体视图，设定在材料明细表对话框中设置的显示样式，单击【确认】按钮，即可生成装配体材料明细表。如图 14-46 所示为所生成的装配体零件序号及材料明细表。

项目号	零件号	材料	数量
1	光栅支座	6061铝合金	1
2	光栅座	6061铝合金	1
3	透光片1	201不锈钢	1
4	透光片2	201不锈钢	1
5	透光片支座	6061铝合金	1
6	透镜座1	6061铝合金	1
7	透镜座2	6061铝合金	1
8	透镜座顶丝	6061铝合金	1
9	凹面透镜2	6061铝合金	1

图 14-46 装配体零件序号及材料明细表

## 复习与思考

1. 上机绘制如图 14-47 所示的草图实体，绘制完成后应该保证所绘制的草图实体（除了中心线或构造线）为完全定义。

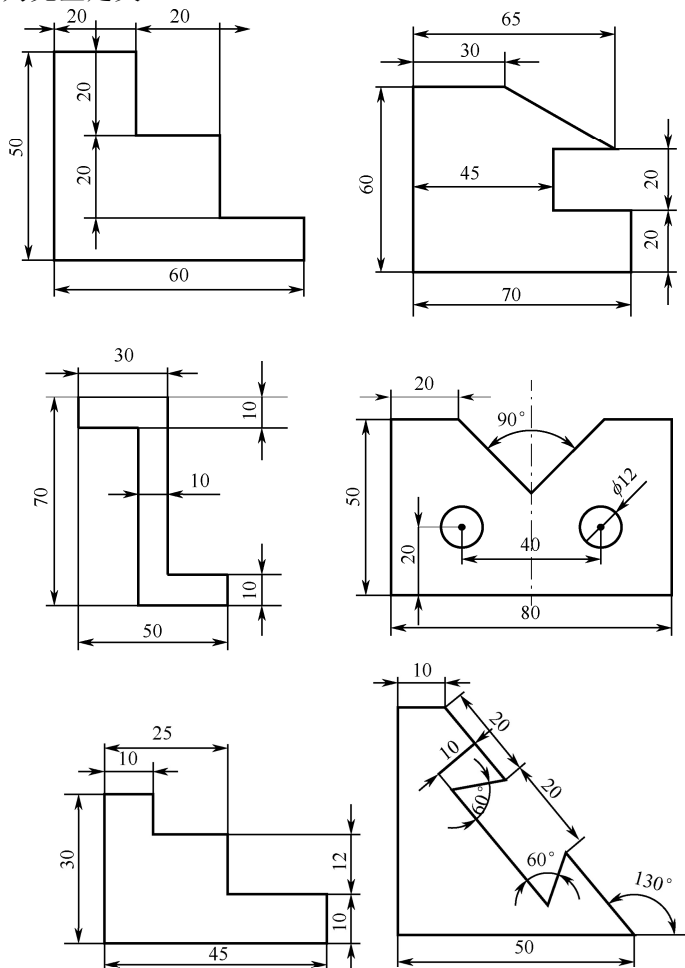
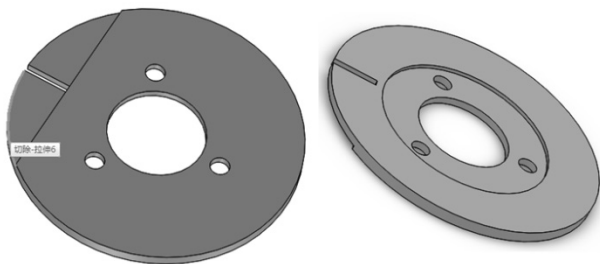


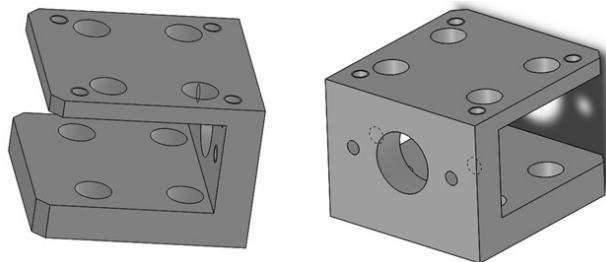
图 14-47 草图实体

2. 上机创建如图 14-48 所示特征（尺寸自定，保证特征比例协调）。

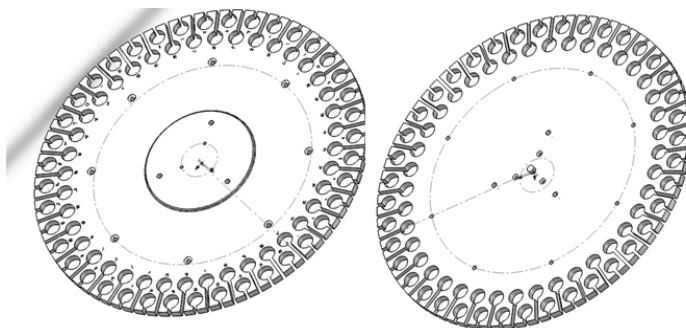


(a)

图 14-48 创建特征



(b)



(c)

图 14-48 创建特征 (续)

## 第 15 章

# 医疗器械产品结构设计实例

结构设计是医疗器械产品设计中技术设计阶段的一个重要环节，它是在总体设计的基础上，根据选定的原理方案，确定满足功能要求的零部件结构、尺寸、材料等。本章将应用本书所学知识，以医院广泛使用的检测设备全自动生化分析仪的取样装置为例，详细介绍其结构设计过程。

### 15.1 生化取样装置的特点及功能要求

生化分析仪是用于研究生命化学物质的医疗仪器，它通过对尿液、血清、脑脊液等的测试分析来达到测定各项生化指标的目的，并结合其他相关的临床资料，对数据进行处理和整体分析，进而为临床的确诊、疾病的治疗和后期康复训练提供准确合理的信息。生化分析仪的取样装置由取样针、取样臂、旋转定位机构组成，加样过程由初始化、吸样、排样和清洗过程组成。大型自动生化仪多具有一组样本取样装置和两组试剂取样装置，可分别从两个试剂室吸取同一个检测项目的第一试剂和第二试剂，如图 15-1 所示。

现有的生化分析仪取样机构一般都具有阻塞报警功能，当取样针被样品中的蛋白等物质阻塞时，机器会自动报警，并冲洗取样针，直接跳过当前样品，进行下一个样品的取样检测。有些取样针的针尖上还具有液面感应功能，可以感受到液体表面并定量地吸取液体。取样针大多采用水洗方式，也有采用化学惰性液方式的。除国外大型进口设备外，国内多数生化分

析仪采用了全齿形带传动，且不具备防撞功能。这种结构反应速度较快，但定位准确度不够，容易发生打针现象，且没有防撞功能，所以经常导致取样针损坏。针对国产生化分析仪的取样系统存在的弊端，需设计一种反应速度快、定位准确、具有竖直防撞功能的生化取样臂。

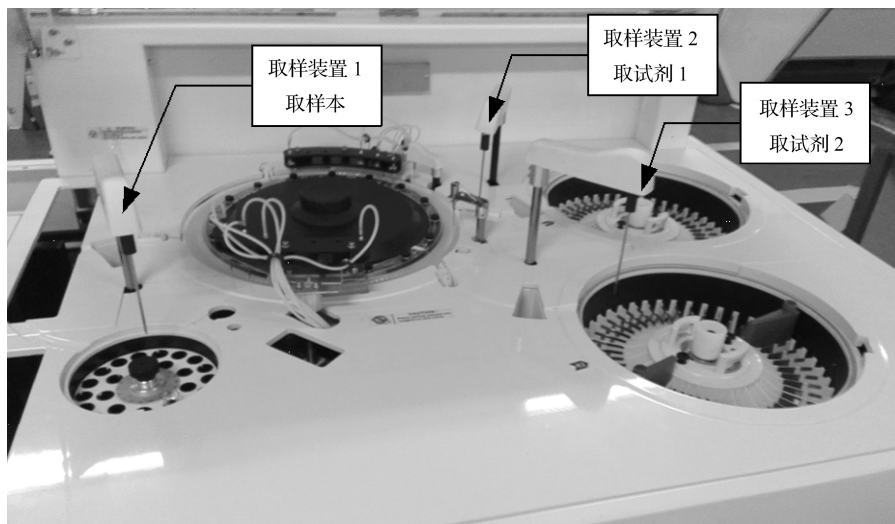


图 15-1 生化分析仪及其取样装置

## 15.2 生化取样装置总体结构方案设计

生化取样装置由驱动机构、传动机构、执行机构三大机构组成，其总体设计方案如图 15-2 所示。驱动机构中需要两个电动机，一个控制悬臂上下移动，另一个控制悬臂左右摆动，两个电动机同时工作实现取样定位。传动机构则采用传统的同步带轮和丝杠传动机构，电动机驱动带轮转动，通过同步带轮连接带动丝杠转动，从而带动取样臂运动。这样的传动方式既保证了取样的快速性，又保证了定位的准确性。执行机构主要由取样臂和取样针组成。取样针连接着取样臂，取样臂跟随着传动机构做上下左右的运动。

取样装置的取样针首先在仪器的清洗位进行冲洗，旋转到装有样品的试管或实验杯上方，然后下降并插入到液体中吸取一定量的样品，吸样结束后，取样针慢慢升高离开当前位置，并转移到反应位置的上方再下降插入到反应杯中释放样品，最后再升高，离开反应位置回到清洗位置，完成取样任务。

为使取样装置满足设计中所叙述的竖直防撞功能，将防撞底座与取样臂固定连接，取样针与遮光片固定连接，在取样臂上套有弹簧，并通过卡簧、定紧螺母和防撞底座约束在一起，如图 15-3 所示。当取样针接触到异物时，弹簧将被压缩，使遮光片从电路板槽型光电传感器的凹槽中间离开，接通传感器的发射器和接收器之间的光路传播，进而改变开关量，使设备停止工作，避免取样针打断。



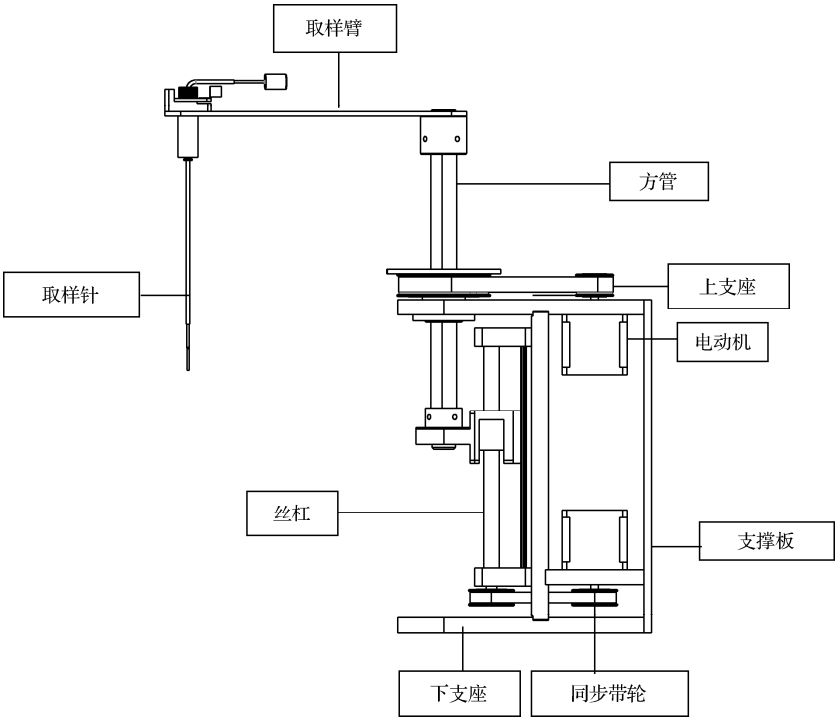


图 15-2 生化取样装置总体设计方案

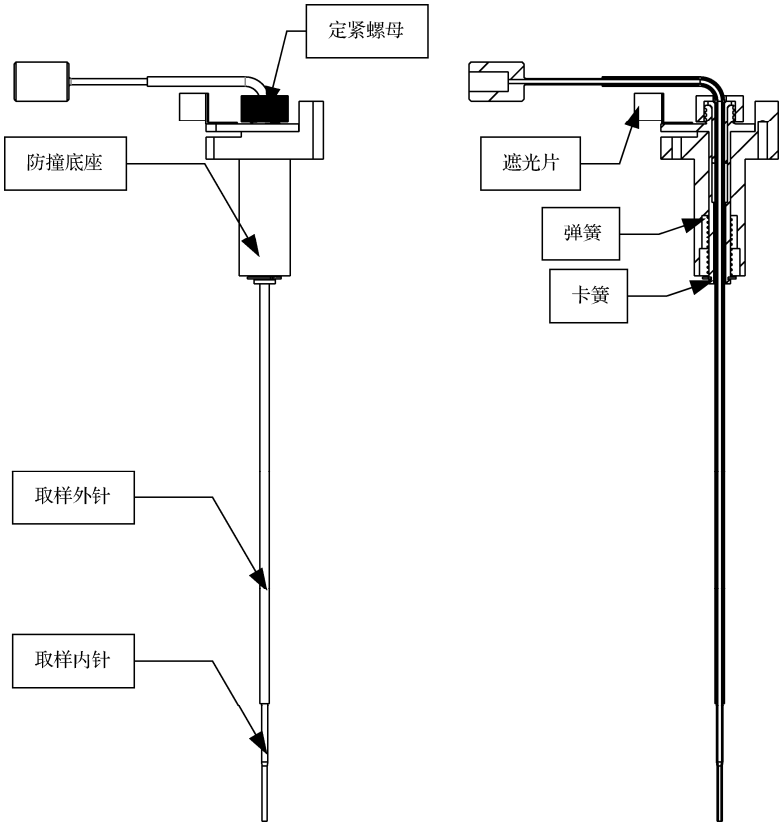


图 15-3 取样防撞机构

## 15.3 生化取样装置结构建模

### 15.3.1 零件建模

#### 1. 零件建模的步骤

使用 SolidWorks 建模软件构建结构模型的过程,实际就是将许多个基本特征叠加在一起的过程。建模的过程可以分为以下几个步骤来完成:

- (1) 进入新建零件的界面。
- (2) 分析零部件,并简化零部件。
- (3) 确定零部件的创建顺序。
- (4) 绘制零部件的草图,并检验草图。
- (5) 创建并编辑基本特征,利用特征完成零件的构建。

#### 2. 取样内针建模

取样内针是基于扫描、旋转、拉伸凸台、拉伸切除、倒角、圆角等特征叠加而成的零件。

(1) 取样内针扫描针管特征:首先在草图上画出折线,用弧线连接,并标注尺寸,作为取样内针的扫描路径;再在垂直草图的参考基准面平面绘制同心圆,并标注尺寸,作为扫描轮廓。单击【特征】面板中的【扫描】按钮,选取草图上的折线为路径、圆环为轮廓,构建扫描特征作为取样内针的针管部分。

(2) 取样内针旋转过渡特征:选取绘制扫描路径的基准面为绘图平面,绘制平行四边形作为旋转轮廓,并标注尺寸,单击【特征】面板中的【旋转凸台/基体】按钮,生成旋转特征,作为针头与针管的过渡特征。

(3) 取样内针拉伸针头特征:以过渡特征断面为绘图平面,调用【草图】面板中的【转换实体引用】命令得到拉伸草图,利用【特征】面板中的【拉伸凸台/基体】命令构建内针的针头部分。

(4) 取样内针拉伸接口特征:以针管的断面为绘图平面,绘制圆并标注尺寸,使用【特征】面板中的【拉伸凸台/基体】命令拉伸出圆柱体,作为接口基体;然后利用圆柱体端面为草图绘制平面,绘制圆并标注尺寸,使用【特征】面板中的【拉伸切除】命令拉伸切除出一个一定深度的孔特征作为取样内针与橡皮管连接的接口。

(5) 调用【特征】面板中的【倒角】命令,设置角度和距离,并选择接口基体和空特征的外边线,得到接口实体的倒角特征。至此,取样内针零件实体建模完成,如图 15-4 所示。

#### 3. 防撞底座建模

防撞底座建模主要基于拉伸凸台、拉伸切除和异形孔导向等特征。由第 14 章和取样内针的建模基础,这里对防撞底座的建模中与前述重复部分将仅做简要介绍。

(1) 防撞底座拉伸凸台特征：利用【拉伸凸台/基体】命令拉伸环形实体，并以环形实体为基础拉伸出圆柱体，环形实体和圆柱体作为防撞底座的模型基体。

(2) 防撞底座拉伸切除特征：利用【拉伸切除】命令分别在环形实体上切除出阶梯台阶，在圆柱体上切除出阶梯孔特征。

(3) 防撞底座螺纹孔特征：选择环形实体特征底面，利用【异形孔向导】命令，在【类型】选项卡中设定【孔类型】为【直螺纹孔】，【标准】为 GB，【类型】为【大小】，【孔规格】为 M3，【终止条件】为给定深度，并设定深度值；然后选择【位置】选项卡，在环形实体底面选择螺纹孔位置，并标注定位尺寸，单击【确定】按钮完成固定螺纹孔特征的创建。至此防撞底座建模完成，如图 15-5 所示。



图 15-4 取样内针

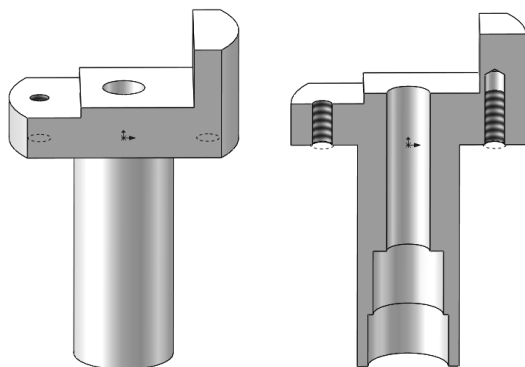


图 15-5 防撞底座

#### 4. 上支座建模

上支座建模主要基于拉伸凸台、拉伸切除和异形孔向导等特征。由防撞底座和取样内针的建模基础，这里对上支座的建模过程做简要介绍，细节问题不再赘述。

(1) 上支座拉伸凸台特征：利用【拉伸凸台/基体】命令拉伸环形实体作为上支座的模型基体。

(2) 上支座拉伸切除特征：利用【拉伸切除】命令分别在环形实体上切除出孔、槽等特征。

(3) 上支座螺纹孔特征：选择环形实体特征底面，利用【异形孔向导】命令在环形实体底面创建四个固定螺纹孔。至此，上支座建模完成，如图 15-6 所示。

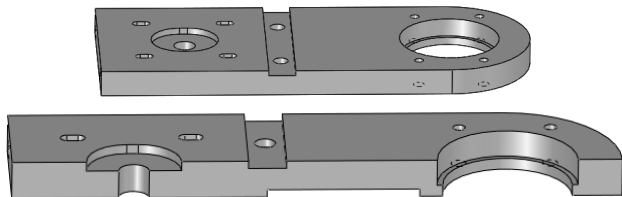


图 15-6 上支座

整个生化取样装置其他零件的建模过程与上述三种零件的建模过程大同小异，这里不再赘述，读者可根据图 15-7 自行建立剩余零件模型。

### 15.3.2 装配体建模

生化取样装置的装配体模型通过插入 15.3.1 节所建零部件，并添加各种装配关系建立约束完成。

**插入零部件：**新建一个装配体文件，把之前构建的所有零件通过【插入零部件】命令导入到装配体文件中（也可分别导入，从第二个零件开始，每完成一个零件的装配，再导入下一个零件，直到所有零件都装配完成），导入的零件分散在界面上，如图 15-7 所示。

**建立配合关系：**通过【装配体】面板上的【配合】命令，利用第 14.6.2 节所学知识为插入的零件建立各种配合，使其相互之间建立约束关系。所有导入零件都建立对应的约束关系后，生化取样装置装配体建模完成，如图 15-8 所示。

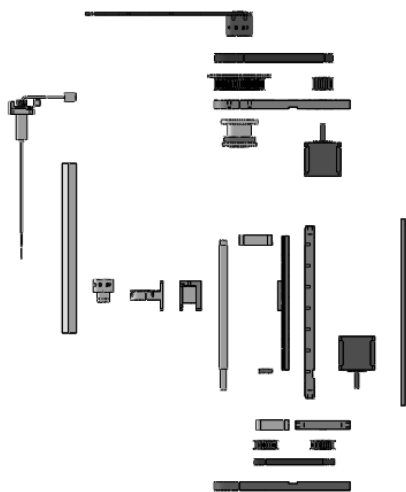


图 15-7 生化取样装置所有零部件模型

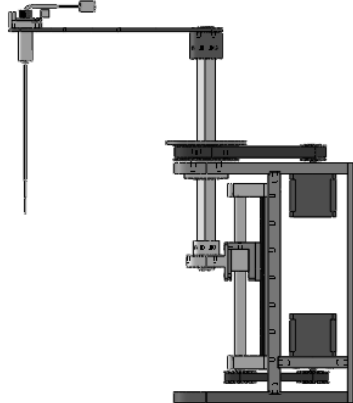


图 15-8 生化取样装置装配体模型

### 15.3.3 干涉检查与修复

干涉是指装配体中两个零件之间存在相互交叉的现象，产生干涉的原因是某零件的尺寸设计不合理或配合位置不正确。在医疗器械结构设计中只有少数特殊的配合允许一定的干涉，因此检查干涉是完成装配后的重要环节，SolidWorks 可自动检查装配体存在的干涉，并将其高亮显示。

打开扩展名为.asm 或.sldasm 的装配体文件，单击【评估】选项中的【干涉检查】命令，会弹出【干涉检查】对话框，单击对话框中的【计算】按钮，系统将自动检查装配体所存在的干涉情况，并将检查结果在【结果】栏中显示，如图 15-9 所示。

从图 15-9 中可以看出有一个干涉，单击【干涉 1】旁边的加号可以查看模型干涉发生位置所涉及的零件，如图 15-10 所示。经分析发现，此处干涉是由丝杠的直径大于齿形带中心孔尺寸所导致的，且该处干涉不属于设计所需的过盈配合，需加以改正。

改正后，需再次对装配体进行干涉检查，直到没有干涉为止。经检查发现装配体不存在干涉，如图 15-11 所示。至此，生化取样装置结构建模完成。



图 15-9 干涉检查结果

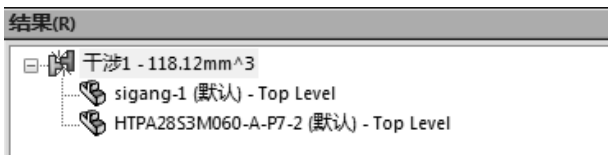


图 15-10 显示干涉问题图

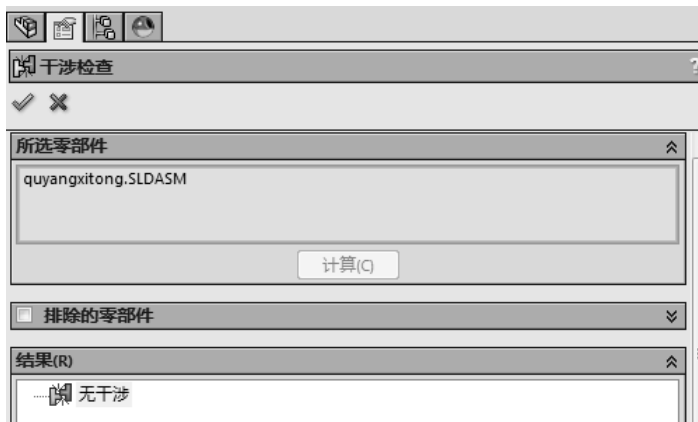


图 15-11 改正后的干涉检查

## 15.4 生化取样装置工程图设计

工程图是零件加工、设备安装与拆卸、质量检测的重要依据。生化取样装置工程图设计包括零件工程图设计与装配体工程图设计。

### 15.4.1 零件工程图设计

- (1) 新建一个工程图文件，选择【工具】→【选项】命令，弹出【系统选项】对话框。在该对话框【系统选项】标签下，选择【工程图】选项，设置视图的各种显示和更新选项。
- (2) 单击【视图布局】面板上的【模型视图】按钮，或选择【插入】→【工程视图】→【模

型】命令,弹出【模型视图】对话框,浏览并打开一个零件(上支座)文件后,选择【模型视图】对话框中的方向配置,在绘图区单击鼠标,将生成第一个视图,即父视图。

(3)单击【视图布局】面板上的【投影视图】按钮,或选择【插入】→【工程视图】→【投影视图】命令,弹出投影提示信息,然后在绘图区选中父视图,移动鼠标并确认,生成上支座的左视图。

(4)单击【视图布局】面板上的【剖面视图】按钮,或选择【插入】→【工程视图】→【剖面视图】命令,弹出剖面提示信息,然后在绘图区选中父视图,向下移动鼠标并确认,生成上支座的剖视图。

(5)单击【尺寸/几何关系】工具栏中的【尺寸】按钮,弹出【尺寸】对话框,选择【智能尺寸】命令为上支座标注所有轮廓尺寸和定位尺寸,并标注尺寸公差。

(6)单击【注解】面板上的【形位公差】按钮,或选择【插入】→【注解】→【形位公差】命令,弹出【形位公差】对话框。在该对话框中填写公差符号、公差值、参考基准等信息,然后在绘图区相应视图的必要位置标注对应形位公差。

(7)分别单击【注解】面板上的【粗糙度】、【中心线】、【注释】等按钮,完成粗糙度、中心线、技术要求等标注。至此,零件工程图设计完成,如图15-12所示(为更清晰地显示标注内容,图15-12没有截取标题栏)。

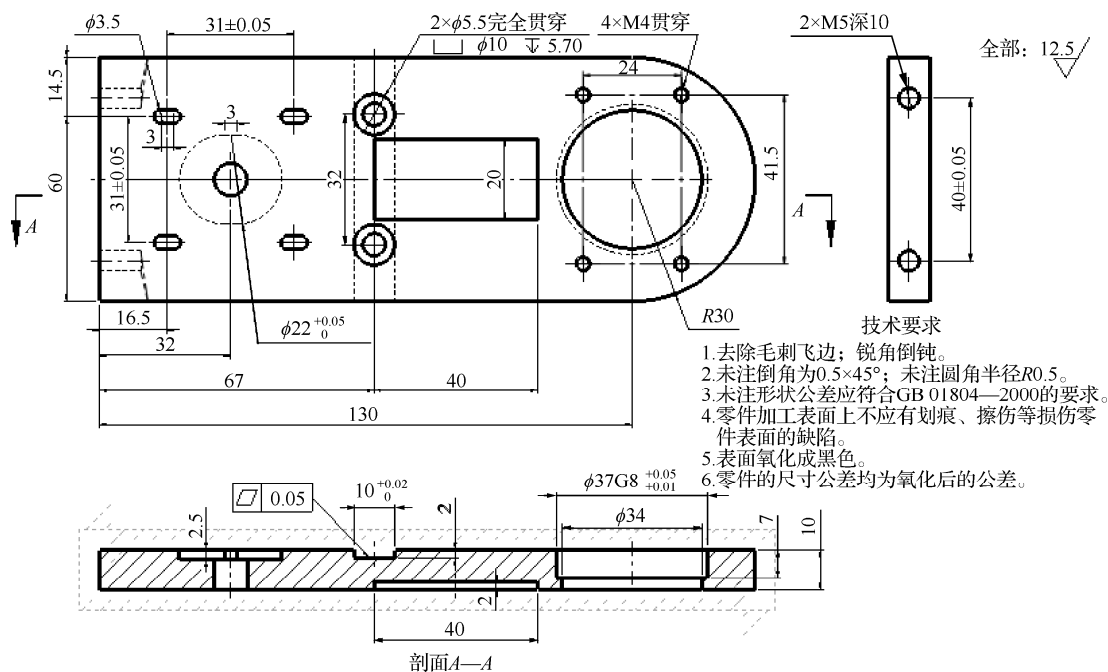


图 15-12 上支座工程图

## 15.4.2 装配体工程图设计

装配体工程图是用来表达机器或部件的图样。在现有医疗设备的使用和维修过程中,常需要通过装配图来了解机器的结构和连接关系。装配图也常用来进行设计方案的论证和技术交流。因此,装配图是设计、安装、维修机器或进行技术交流的一项重要技术资料。



## 复习与思考

设计一种便捷式座椅拐杖，外形如图 15-14 所示，可以有所创新。要求：



图 15-14 便捷式座椅拐杖

- (1) 创建座椅拐杖的每一个零件模型，尺寸自定，需符合人机工程学要求；
- (2) 创建装配体模型，并进行干涉检查，确保装配无干涉；
- (3) 分别生成零件工程图和装配体工程图，视图布局要充分反映零件内部结构和装配体安装关系，尺寸公差标注完整，注释正确，装配体工程图要标注零件序号和材料明细表。